CFturbo 10

Handbuch für die Software CFturbo 10

© CFturbo Software & Engineering GmbH

CFturbo 10

Einleitung

Diese Dokumentation beschreibt die Nutzung der Software CFturbo 10 und entspricht inhaltlich der mitgelieferten Online-Hilfe.

© CFturbo Software & Engineering GmbH, 2015

Alle Rechte vorbehalten. Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung der Autoren unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Bei der Erstellung dieser Dokumentation wurde mit großer Sorgfalt vorgegangen. Trotzdem können Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden. Die Autoren können für fehlerhafte Angaben und deren Folgen weder eine juristische verantwortungnoch irgendeine Haftung übernehmen.
Für Verbesserungsvorschläge und Hinweise auf Fehler sind die Autoren dankbar.

Inhaltsverzeichnis

Teil I CFturbo 9

Teil II Allgemeines 12

1 Lizensierung ... 12
- Lokale Lizenz installieren ... 15
- Netzwerklizenz installieren ... 18
  - Lizenzserver-Installation ... 19
  - Client-Setup ... 23
- Lizenz-Informationen anzeigen ... 24
- Problemlösungen ... 25

2 Batch-Mode ... 26
- Parameter für Laufräder/ Statoren ... 30
- Parameter für Spiralgehäuse ... 34
- Exit Codes ... 34
- Beispiele ... 34

3 Projektstruktur und Interfaces ... 38
- Interface-Definition ... 40

4 Grafische Dialoge ... 42

5 Eingabefelder mit empirischen Funktionen ... 44

6 Fehler-Berichte ... 45

Teil III Start 50

Teil IV Geöffnetes Projekt 53

Teil V Komponenten Entwurfsprozess 57

Teil VI Menü 61

1 File ... 63
- Neuen Entwurf beginnen ... 63
- Öffnen/ Speichern von Entwürfen ... 65

2 PROJECT ... 66
- Project ... 66
  - Project information ... 67
  - Global setup ... 67
  - Performance prediction ... 73
  - Export ... 79
    - Basic ... 85
    - CAD ... 89
    - CFD ... 91
    - Details ... 94
      - AutoCAD (Autodesk, Inc.) ... 94
      - Inventor (Autodesk, Inc.) ... 100

© CFturbo Software & Engineering GmbH

CATIA (Dassault Systèmes) ... 103
AutoGrid (NUMECA International) ... 103
Creo Parametric (PTC, Inc.) ... 106
ICEM-CFD (ANSYS) ... 122
STL ... 124
Einschränkungen beim Datenexport ... 124
Import 3D geometry ... 125
Reference components ... 125
Show/Hide messages ... 129
Undo ... 129
Selected Component ... 130
Add component ... 130
Active/ Rename/ Delete ... 131
Remove design steps ... 133
3 IMPELLER / STATOR / VOLUTE ... 134
4 PREFERENCES ... 135
Licensing ... 135
Approximation functions ... 135
Fluids ... 139
Profiles ... 143
General ... 146
Units ... 148
General ... 149
Specific speed ... 150
Other ... 151
Impeller/ Stator ... 152
5 3D MODEL ... 154
6 3D MODEL - BLADES ... 154
7 REPORT ... 155
8 HELP ... 155
Check for Updates ... 156
Teil VII Ansichten **158**
1 Meridian ... 159
2 3D Modell ... 163
Modell-Darstellung (oben) ... 164
Modell-Baum (links) ... 170
Probleme bei der Generierung des 3D-Modells ... 174
3 Report ... 178
Teil VIII Laufrad **180**
1 Hauptabmessungen ... 181
Radiale/Halbaxiale Pumpe / Ventilator ... 182
Setup ... 184
Parameter ... 185
Hauptabmessungen (Dimensions) ... 192
Axiale Pumpe / Ventilator ... 198
Setup ... 200
Parameter Pumpen ... 201
Inducer ... 207

Parameter Ventilator ... 209
Hauptabmessungen (Dimensions) ... 214
Radialverdichter ... 219
Setup ... 221
Parameter ... 222
Hauptabmessungen (Dimensions) ... 228
Radialturbine ... 234
Setup ... 236
Parameter ... 237
Hauptabmessungen (Dimensions) ... 242
Axialturbine ... 248
Setup ... 250
Parameter ... 252
Hauptabmessungen (Dimensions) ... 255
Wellen-/Nabendurchmesser (Shaft/Hub) ... 261
2 Meridianschnittkontur ... 262
Hub-Shroud contour ... 269
Bezier ... 271
Konvertierung Polylinie - Bezier ... 274
Circular Arc + Straight line ... 275
Contour ... 278
Leading-Trailing edge contour ... 279
Additional views ... 281
Meridianströmungs-Berechnung ... 284
3 Mean line design ... 287
Schaufeleigenschaften ... 287
Grundeinstellungen ... 290
Radialfaserschaufel ... 298
Schaufelwinkel ... 299
Eintrittsdreieck ... 302
Austrittsdreieck ... 305
Abströmbeiwert nach AUNGIER ... 309
Abströmbeiwert nach PFLEIDERER ... 310
Abströmbeiwert nach WIESNER ... 311
Abströmbeiwert nach GÜLICH (Abwasserpumpen) ... 312
Schaufelskelettlinien ... 312
Freiform-Schaufeln, 2D-Schaufeln, Radialfaserschaufeln ... 316
Kreisbogenschaufeln, Gerade Schaufeln ... 319
Additional views ... 320
Sinus-Regel ... 323
Neigungswinkel ... 324
Berechnung der Schaufelumströmung ... 327
Schaufelprofile ... 330
Additional views ... 334
Konvertierung Polylinie - Bezier ... 335
Schaufelkanten ... 336
Kanten-Position ... 342
4 Airfoil/Hydrofoil-Entwurf ... 343
Schaufeleigenschaften ... 343
Cu-Spezifikation ... 346
Radiales Gleichgewicht ... 348
Schaufelprofile ... 349
Kinematik ... 351

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Blade element momentum method ... 353
Lieblein-Methode ... 354
Schaufelprofile ... 356
Sichelung ... 357
5 CFD Setup ... 359
Extension ... 360
Miscellaneous ... 362
Segment ... 363
Blade O-Grid ... 367
Other ... 367
6 Modell-Einstellungen ... 368
7 Modell-Fertigstellung ... 370

Teil IX Stator **377**

1 Hauptabmessungen ... 377
Ausdehnung (Extent) ... 379
Eintritt (Inlet) ... 382
Austritt (Outlet) ... 383
2 Meridiankontur ... 383
3 Schaufeleigenschaften ... 384
Schaufelzahl ... 385
4 Schaufelskelettlinien ... 387
5 Schaufelprofile ... 390
6 Schaufelkanten ... 390
7 CFD Setup ... 391
8 Modell-Einstellungen ... 391
9 Modell-Fertigstellung ... 391

Teil X Volute **393**

1 Setup & Inlet ... 393
Setup ... 394
Inlet details ... 398
2 Querschnitt ... 399
Bezier-Querschnitt ... 404
Line Segments-Querschnitt ... 405
Radius based cross section ... 408
Interne Querschnitte ... 409
3 Spiralengeometrie ... 410
Auslegungsvorschrift (Design rule) ... 414
Zungenkorrektur (Cut-water compensation) ... 415
Additional views ... 416
4 Diffusor ... 418
Additional views ... 423
5 Spiralenzunge ... 424
Simple ... 428
Fillet ... 430
Sharp ... 433

© CFturbo Software & Engineering GmbH

6 CFD Setup 434
7 Modell-Einstellungen 435

Teil XI Appendix 439

1 Literatur 439
2 Symbole 442
3 Kontaktadressen 443
4 Lizenzbedingungen 444

Index 453

© CFturbo Software & Engineering GmbH

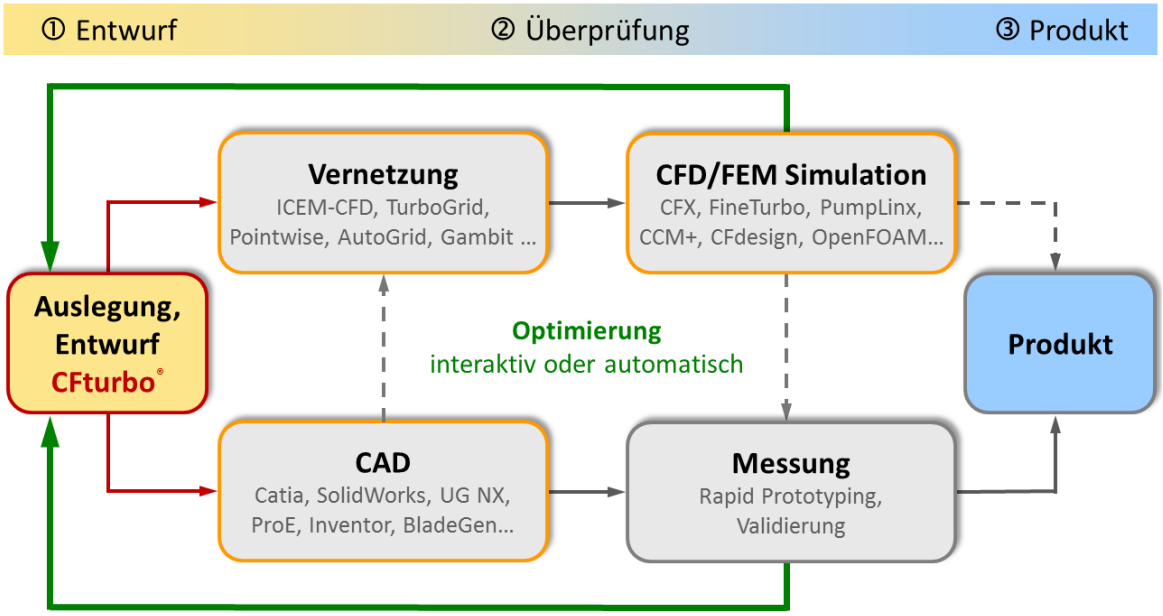
Teil I

1 CFturbo

CFturbo ist ein Programm, das den Anwender beim schnellen Entwurf hydraulisch hochwertiger Turbomaschinen unterstützt: Pumpen, Ventilatoren, Verdichter, Turbinen. Es können radiale, halbaxiale und axiale Laufräder, Statoren und Spiralgehäuse entworfen werden, wobei verschiedene Geometrien gleichzeitig dargestellt, verglichen und variiert werden können.

Das Programm ist leicht bedienbar und enthält eine Vielzahl von Approximationsfunktionen, die vom Nutzer beliebig geändert werden können, so dass eigenes Know-how in den Entwurf einfließen kann. Trotz der teilautomatischen Vorgehensweise des Programms wird der Entwurf optimaler Geometrien erheblich begünstigt, wenn entsprechende Erfahrungen des Anwenders vorliegen.

Durch Direktschnittstellen zu CAD- und CFD-Systemen ist eine Integration der Geometriedaten in den Entwicklungs- und Konstruktionsprozess der Turbomaschine möglich.



Bitte lesen Sie die Lizenzbedingungen 444 vor der Nutzung des Programms.

Informationen zur Aktivierung der Lizenz sind im Abschnitt Lizensierung 12 dargestellt.

Ansprechpartner finden Sie unter Kontaktadressen 443, neueste Informationen auf der CFturbo-

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Webseite.

Copyright © 2015, CFturbo Software & Engineering GmbH

Teil II

2 Allgemeines

Dieser Abschnitt enthält allgemeine Programm-Informationen über

- Lizensierung 12
- Batch-Mode 26
- Projektstruktur und Interfaces 38
- Grafische Dialoge 42
- Eingabefelder mit empirischen Funktionen 44

2.1 Lizensierung

? Preferences | Licensing

CFturbo kann ohne gültige Lizenz im sog. Viewer-Modus verwendet werden. Dieser erlaubt das Öffnen von Projektdateien, unabhängig von den enthaltenen Komponenten, Änderungen an den Entwürfen sind jedoch nicht möglich.

Zum Bearbeiten von Projekten mit CFturbo wird eine gültige Lizenz vorausgesetzt. Enthält ein Projekt mehrere Komponenten, so lassen sich Änderungen nur an denen vornehmen, für die eine Lizenz vorhanden ist.

Ein CFturbo-Projekt, welches beispielsweise einen Stator, ein Pumpen-Laufrad sowie ein Spiralgehäuse enthält kann stets geöffnet werden. Wurden nur die Module für Statoren und Pumpen-Laufräder lizensiert, so lassen sich auch nur diese Komponenten verändern und exportieren, jedoch nicht das Spiralgehäuse.

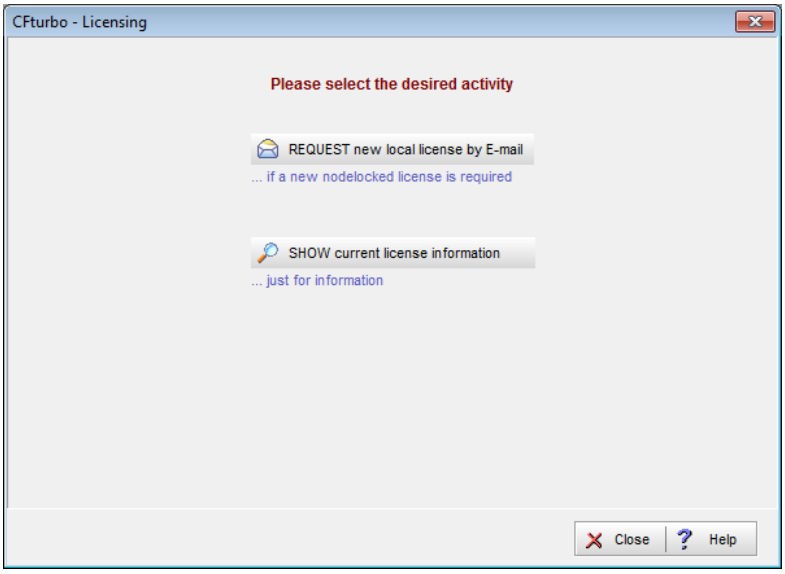
Eine Besonderheit in der Lizensierung stellen Statoren dar. Ist eine Lizenz für Spiralgehäuse oder einen Laufradtyp vorhanden, so können auch unbeschaufelte Statoren zum Projekt hinzugefügt und bearbeitet werden.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

		Modul						
		Radial pump impeller	Radial ventilator impeller	Radial compressor impeller	Radial turbine impeller	Stator (beschaufelt)	Stator	Volute
Vorhandene Lizenz:	Radial pump impeller	w	r	r	r	r	w	r
	Radial ventilator impeller	r	w	r	r	r	w	r
	Radial compressor impeller	r	r	w	r	r	w	r
	Radial turbine impeller	r	r	r	w	r	w	r
	Stator	r	r	r	r	w	w	r
	Volute	r	r	r	r	r	w	w

w = Modul ist bearbeitbar; r = Modul kann nur gelesen werden

Der Menüpunkt **Licensing** ermöglicht das Durchführen aller Lizensierungsaufgaben mit Hilfe eines Assistenten (**Licensing wizard**).


CFturbo - Licensing
Please select the desired activity
REQUEST new local license by E-mail
... if a new nodelocked license is required
SHOW current license information
... just for information
Close
Help

REQUEST 15 new local license by e-mail

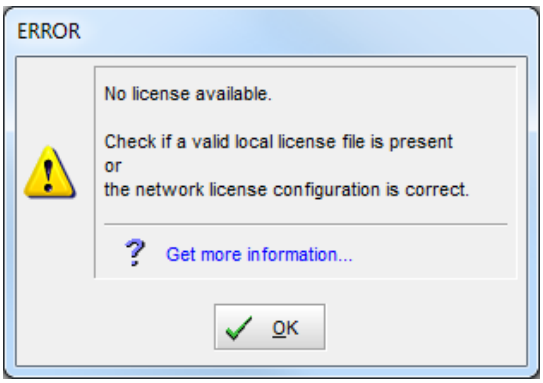
SHOW 24 current license information

Lizenzablauf

Sofern die Lizenz eines Software-Modules abgelaufen ist, kann durch Eingabe einer neuen das Programm wieder freigeschaltet werden.

20 Tage vor Ablauf der Lizenz wird beim Starten des Programms auf die Anzahl der verbleibenden Tage hingewiesen. Die Anzahl der Tage für diesen Hinweis kann unter "Preferences | Settings | General 146 eingestellt werden.

Lizenzierungsschritte



Beim ersten Start von CFturbo ist keine gültige Lizenz vorhanden. Für den Betrieb im Viewer-Modus sind keine weiteren Schritte notwendig.

Wenn Projekte bearbeitet werden sollen muss entweder

a) eine lokale Lizenz angefordert und installiert werden

oder

b) CFturbo für die Nutzung einer Netzwerklizenz konfiguriert werden.

Prinzipiell können alle Schritte der Lizenzierung auch per Remote-Desktop-Verbindung (RDP) durchgeführt werden. Beachten Sie aber bitte, dass letztendlich die Nutzung der lokalen Lizenz nur direkt auf diesem Computer möglich ist und nicht über RDP. Für diesen Zweck ist eine Netzwerk-Server-Lizenz notwendig!

1. Local Computer License

Schritt	
1.	CFturbo starten - es erscheint der "License" Dialog 12 (oder im Menü Preferences | Licensing | Licensing).
2.	Anfragen 15 einer lokalen Lizenz und Senden der

© CFturbo Software & Engineering GmbH

	Lizenzanfrage an sales@cfturbo.com
3.	Speichern der vom CFturbo Vertriebs-Team empfangenen Datei (<Dateiname>.lic) im CFturbo Installationsverzeichnis (z.B. C:\Program Files (x86) \CFturbo 9)
4.	Lizenzinformationen anzeigen 24, um Module und Laufzeiten zu überprüfen

2. Network Server License

(NICHT als Testlizenz verfügbar)

Um CFturbo mit einer Netzwerklizenz zu nutzen muss zuerst der Lizenzserver installiert (inkl. Beantragung und Installation der Netzwerklizenz) werden. Details siehe Netzwerklizenz-Installation 18.

Jeder Computer auf dem CFturbo mit einer Netzwerklizenz genutzt werden soll muss konfiguriert werden.

Schritt	
1.	Konfigurieren des Computer für die Nutzung einer Netzwerklizenz 18
2.	CFturbo starten und "License" Dialog 12 (Menü Preferences | Licensing | Licensing) öffnen
4.	Lizenzinformationen anzeigen 24 um Module und Laufzeiten zu überprüfen

2.1.1 Lokale Lizenz installieren

Für die Nutzung von CFturbo mit einer lokalen Lizenz sind folgende 2 Schritte notwendig:

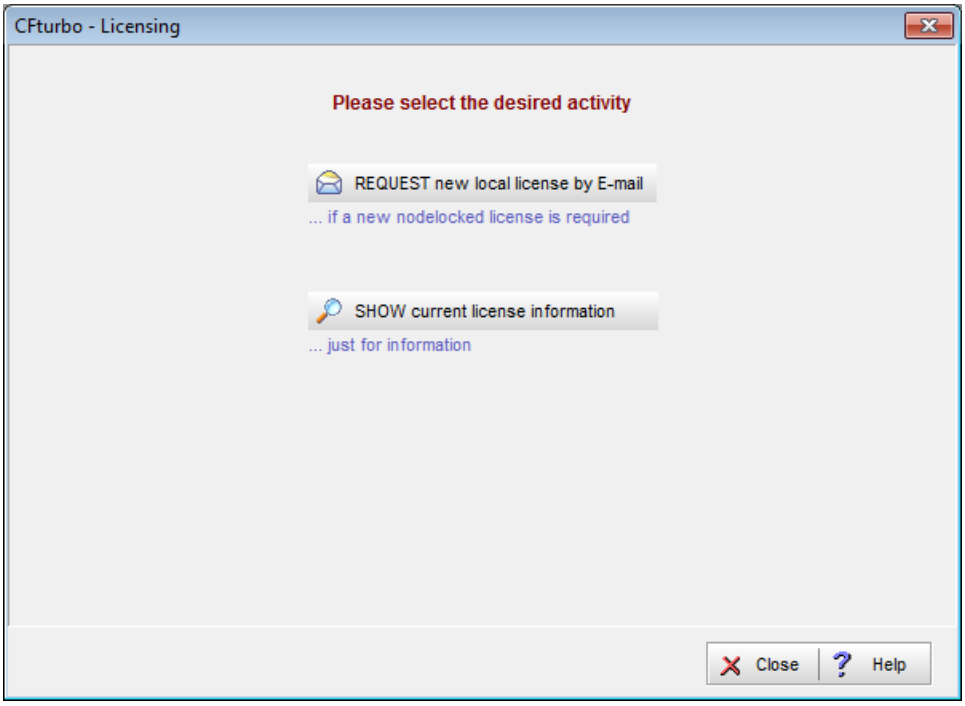
- Beantragen einer Lizenz mit Hilfe des CFturbo Lizenz-Dialoges
- Speichern der erhaltenen Lizenzdatei im CFturbo-Installationsverzeichnis

Hinweis: Falls CFturbo für die Nutzung einer Netzwerklizenz konfiguriert 18 ist, werden Module zuerst von dieser verwendet!

© CFturbo Software & Engineering GmbH

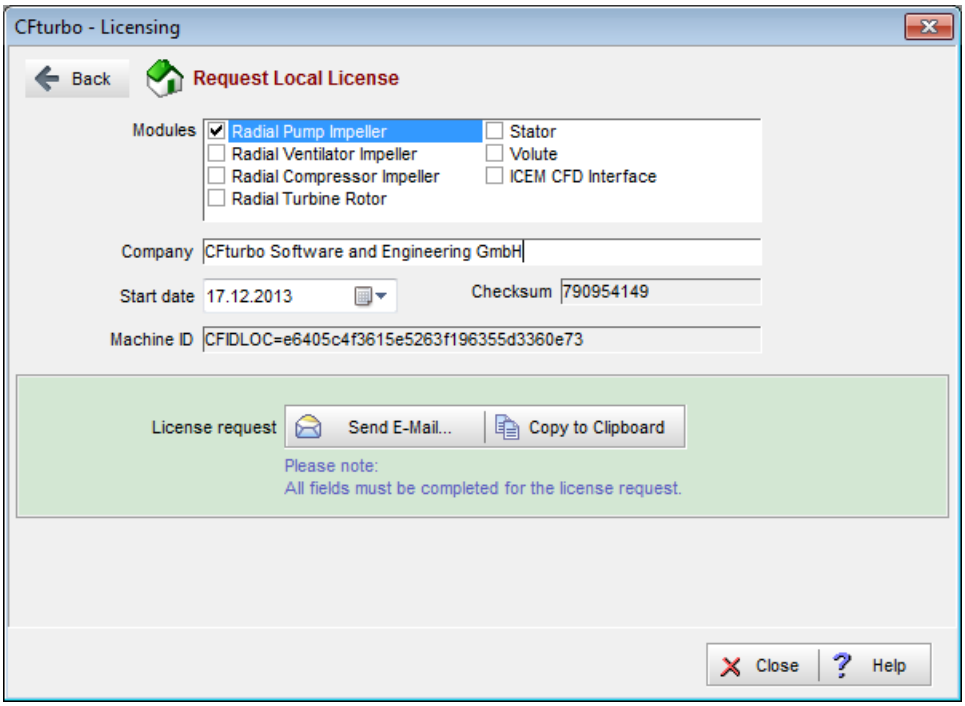
Beantragen einer lokalen Lizenz

Falls weder eine lokale Lizenz vorhanden noch eine Netzwerklizenz konfiguriert ist, wird CFturbo den Lizenz-Dialog (Preferences | Licensing | Licensing) beim Start automatisch öffnen.


CFturbo - Licensing
Please select the desired activity
REQUEST new local license by E-mail
... if a new nodelocked license is required
SHOW current license information
... just for information
Close
Help

Hier ist **REQUEST new local license by E-mail** auszuwählen.

© CFturbo Software & Engineering GmbH



Unter **Modules** werden die CFturbo-Module ausgewählt, für die eine Lizenz beantragt werden soll. Tragen Sie unter **Company** den Namen der beantragenden Firma ein.

Das Startdatum (**Start date)** kann gewählt werden um bspw. eine Lizenz mit kurzer Laufzeit an den Beginn eines Projektes anzupassen.

Die sog. **Machine ID** und die **Checksum** werden automatisch berechnet. Sie stellen die Nutzung entsprechend den Lizenzbedingungen sowie die Zuordnung zum lokalen Computer sicher.

Nach Eingabe aller notwendigen Informationen kann

- mit dem **Send E-Mail-**Button eine Nachricht mit dem Standard-Mailprogramm vorbereitet werden (Die Mail wird nicht automatisch verschickt!)

ODER

- mit dem **Copy to Clipboard**-Button der Inhalt der Anfrage in die Zwischenablage kopiert werden und manuell per Mail verschickt werden (Empfänger: sales@cfturbo.com).

Lizenzdatei installieren

Die empfangene Lizenzdatei muss im CFturbo-Installationverzeichnis (z.B. C:\Program Files (x86) \CFturbo 9), welches während der Installation ausgewählt wurde, gespeichert werden. Die Datei hat bereits *.lic* als Dateiendung, diese Endung darf nicht geändert werden!

Es sollte nur eine Lizenzdatei (*.lic) in diesem Verzeichnis vorhanden sein.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Anschließend kann CFturbo gestartet und die Lizenzinformationen 24 überprüft werden.

2.1.2 Netzwerklizenz installieren

Auswahl der Lizenzserver-Maschine

Die Nutzung von Netzwerk-Lizenzen erfordert eine CFturbo-Lizenzserver-Software, die auf einer Server-Maschine ausgeführt wird. Der Lizenzserver steuert den Zugriff der Clients auf die CFturbo-Lizenzen.

Die Server-Maschine sollte die folgenden Eigenschaften aufweisen:

- Das Betriebssystem muss Microsoft Windows® sein.
  Es ist ausdrücklich zu empfehlen, ein Server-Betriebssystem zu verwenden (Windows Server 20xx).
- Die Server-Maschine muss sich in demselben lokalen Netzwerk (LAN) wie die CFturbo-Clients befinden.
  Die Nutzung der Netzwerklizenzen in einem standortübergreifenden Netzwerk (WAN) ist nicht erlaubt.
- Die Server-Maschine sollte hochverfügbar sein, eine Hochgeschwindigkeits-Ethernet-Verbindung besitzen und moderater Netzwerklast ausgesetzt sein.
- Alle Dateien, die bei der Lizensierung eine Rolle spielen, müssen sich auf einer lokalen Festplatte der Server-Maschine befinden.
- Die Server-Maschine muss eine statische IP-Adresse besitzen.
- Datum und Uhrzeit der Server-Maschine müssen korrekt sein. Diese Einstellungen dürfen nicht manipuliert werden.

Lizenzserver auf Virtuellen Maschinen

Die CFturbo Lizenzserver-Software kann auf Virtuellen Maschinen (z.B. VMware) installiert und genutzt werden. Jedoch ist diese Nutzung auf virtuellen Systemen weder getestet noch zertifiziert. Probleme in Bezug auf die Nutzung Virtueller Maschinen können nicht vom CFturbo-Support gelöst werden und sollten in Zusammenarbeit mit den Herstellern der Virtuellen Maschinen geklärt werden.

Beachten Sie, dass die Nutzung Virtueller Maschinen zur Vervielfältigung der verfügbaren CFturbo-Lizenzen explizit verboten ist.

Schritte zur Netzwerk-Lizensierung

Um CFturbo mit einer Netzwerklizenz zu nutzen sind folgende Schritte notwendig:

© CFturbo Software & Engineering GmbH

1. Installation des CFturbo Lizenzservers 19
2. Beantragen einer Lizenz mit dem Request Generator 21
3. Speichern der empfangenen Lizenzdatei im Installationsverzeichnis des CFturbo Lizenzservers 19
4. Konfiguration der Clients für die Nutzung einer Netzwerklizenz 23

2.1.2.1 Lizenzserver-Installation

Installation des Lizenzservers

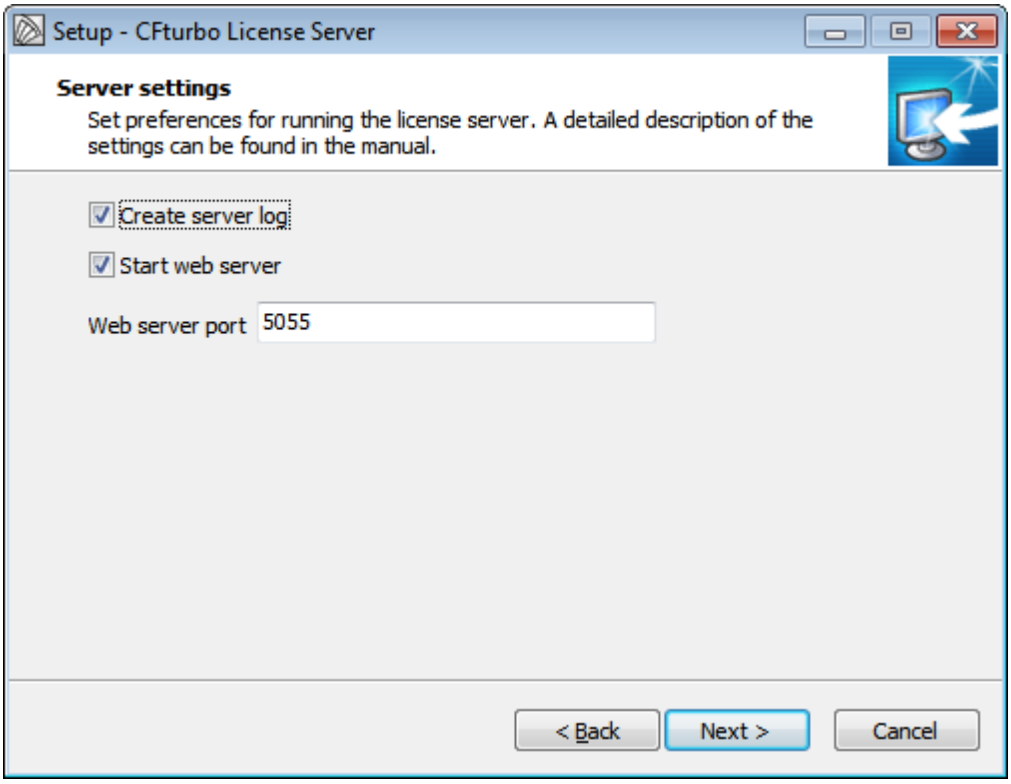
Für den Lizenzserver gibt es ein vom CFturbo-Setup getrenntes Installationsprogramm. Es enthält folgende Komponenten:

- Server-Dateien
- Windows-Dienst "Reprise LM for CFturbo"
- Request Generator
- diese Anleitung

Der Lizenzserver wird als Windows-Dienst installiert und beim Systemstart automatisch ausgeführt.

Nach Wahl von Installationsverzeichnis und dem Startmenü-Eintrag folgen die Einstellungen des Servers:

© CFturbo Software & Engineering GmbH

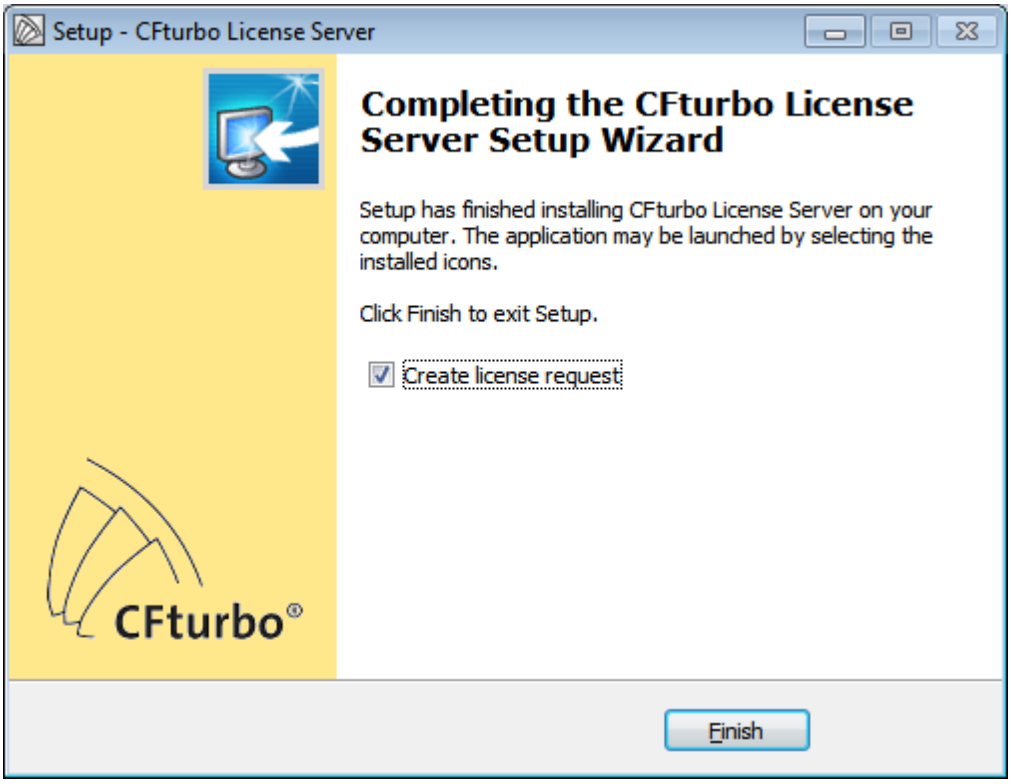

Setup - CFturbo License Server
Server settings
Set preferences for running the license server. A detailed description of the settings can be found in the manual.
Create server log
Start web server
Web server port
5055
< Back
Next >
Cancel

Wenn **Create server log** ausgewählt ist, erstellt der Lizenzserver eine Protokoll-Datei im Log-Verzeichnis. Es wird nicht empfohlen, diese Option abzuwählen!

Der RepriseLM-Server hat einen eingebauten Webserver. Falls **Start web server** ausgewählt ist gibt **Server port** den verwendeten Port an.

Hinweis: Das Setup prüft nicht auf Port-Konflikte, der Port darf nicht bereits verwendet werden. Er kann aber z.B. durch Deinstallation und eine erneute Installation des Lizenzservers geändert werden.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

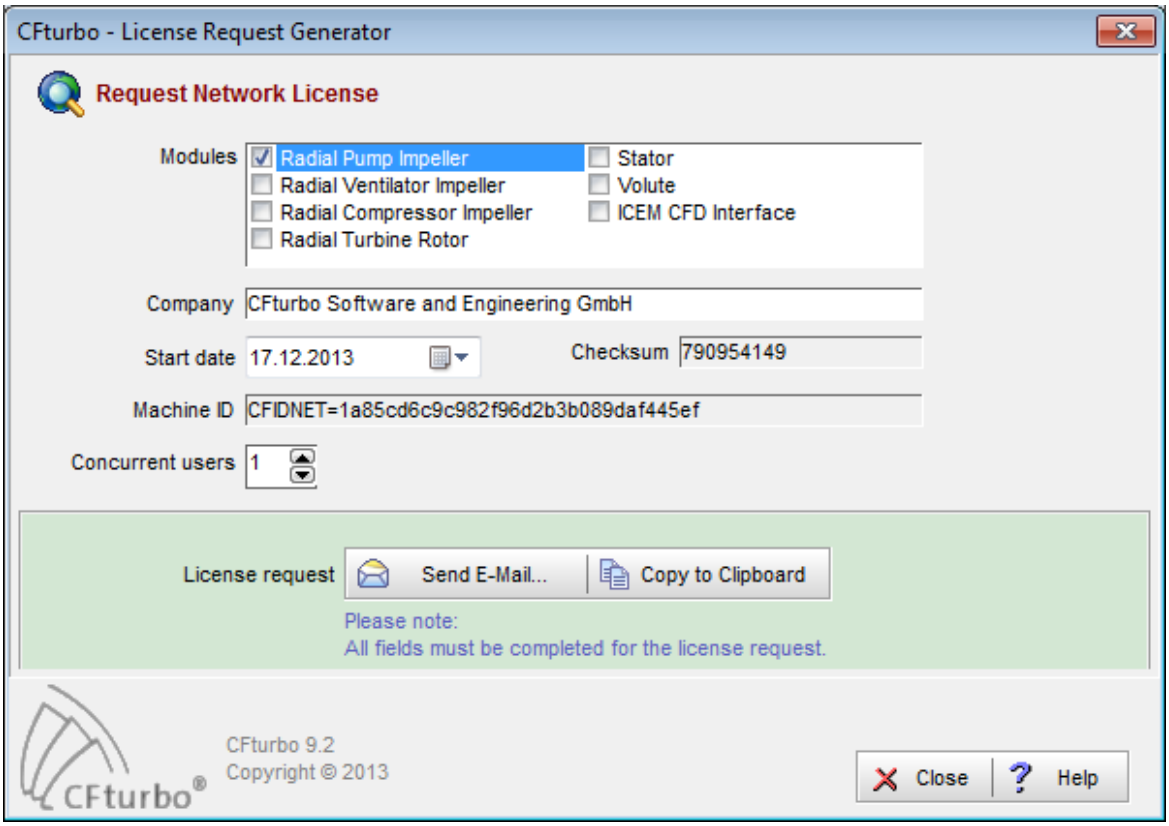

Setup - CFturbo License Server
Completing the CFturbo License Server Setup Wizard
Setup has finished installing CFturbo License Server on your computer. The application may be launched by selecting the installed icons.
Click Finish to exit Setup.
Create license request
CFturbo®
Finish

Die letzte Setup-Seite hat die Option **Create license request**. Diese Option startet nach Abschluss der Installation den Request Generator.

Beantragen einer Netzwerklizenz

Der Request Generator sammelt alle notwendigen Informationen.

© CFturbo Software & Engineering GmbH



Unter **Modules** werden die CFturbo-Module ausgewählt, für die eine Lizenz beantragt werden soll. Tragen Sie unter **Company** den Namen der beantragenden Firma ein.

Das Startdatum (**Start date)** kann gewählt werden um bspw. eine Lizenz mit kurzer Laufzeit an den Beginn eines Projektes anzupassen.

Die sog. **Machine ID** und die **Checksum** werden automatisch berechnet. Sie stellen die Nutzung entsprechend den Lizenzbedingungen sowie die Zuordnung zum Netzwerkserver sicher.

Die Einstellung **Concurrent users** erlaubt das Ändern der Nutzeranzahl für die zu beantragende Netzwerklizenz.

Nach Eingabe aller notwendigen Informationen kann

- mit dem **Send E-Mail**-Button eine Nachricht mit dem Standard-Mailprogramm vorbereitet werden (Die Mail wird nicht automatisch verschickt!)

ODER

- mit dem **Copy to Clipboard**-Button der Inhalt der Anfrage in die Zwischenablage kopiert werden und manuell per Mail verschickt werden (Empfänger: sales@cfturbo.com).

Lizenzdatei installieren

Die empfangene Lizenzdatei muss im Installationverzeichnis des Lizenzservers (z.B. C:\Program Files (x86)\CFturbo 9\LicenseServer), welches während der Installation ausgewählt wurde, gespeichert werden. Die Datei hat bereits *.lic* als Dateiendung, diese Endung darf nicht geändert werden!

Es sollte nur eine Lizenzdatei (*.lic) in diesem Verzeichnis vorhanden sein.

Nach dem Ablegen der Datei im Verzeichnis muss der Windows-Dienst ("Reprise LM for CFturbo") neu gestartet werden. Anschließend kann in der Protokolldatei oder auf dem Web-Interface der Status des Servers überprüft werden.

Firewall-Konfiguration

Falls der Zugriff von Clients auf den Server durch eine Firewall hindurch erfolgen soll, muss diese den Verkehr auf mind. 2 Ports erlauben. Der rlm Server selbst, falls nicht anders in der Lizenzdatei festgelegt (in der SERVER- oder HOST-Zeile), wird auf **5053** ausgeführt. Der ISV Server erhält normalerweise bei jedem Start dynamisch eine neue Port-Nummer.

Es ist möglich, dass der rlm Server dem ISV Server eine feste Port-Nummer zuweist. Um dies zu tun muss die Port-Nummer für den ISV Server in der ISV-Zeile der Lizenzdatei angegeben werden. Die Port-Nummer ist der vierte Parameter in der Zeile:

```
ISV isvname isv-binary-pathname port=port-number
```

e.g.

```
ISV cfturbo cfturbolm.exe port=5054
```

Außer auf dem Webserver-Port müssen auf allen verwendeten Ports Verbindungen zugelassen werden.

Für Details zur Server-Konfiguration oder der Lizenzdatei siehe RepriseLM Benutzerhandbuch.

Weitere Konfigurationsmöglichkeiten

Weitere Konfigurationsmöglichkeiten sind im RepriseLM Benutzerhandbuch zu finden.

2.1.2.2 Client-Setup

Auto-Configuration

© CFturbo Software & Engineering GmbH

CFturbo kann im Netzwerk vorhandene Lizenzserver automatisch erkennen. Wenn die Erkennung funktioniert sind keine weiteren Einstellungen am Client notwendig. Falls der Lizenzserver nicht automatisch gefunden wird, so muss dieser per Umgebungsvariable konfiguriert werden.

Die Erkennung funktioniert nur, wenn Client und Lizenzserver sich im gleichen Braodcast-Subnetz befinden und der Lizenzserver mit Standardeinstellungen konfiguriert ist. Weitere Informationen siehe RepriseLM Benutzerhandbuch.

Setzen der Umgebungsvariable

Trotzdem kann die Windows Umgebungsvariable CFTURBO_LICENSE definiert werden, die den Lizenzserver lokalisiert.

Sie wird in der Form <port>@<host> gesetzt.

<port>: Port des Lizenzservers für die Verbindung zwischen Client und Server

<host>: Hostname der Lizenzserver-Maschine (Name oder IP-Adresse)

Der Standardport - falls nicht anders in der Server-Lizenzdatei festgelegt (in der SERVER- oder HOST-Zeile) - ist **5053**.

Beispiel:

CFTURBO_LICENSE=5053@rlmhost

Mehrere Lizenzserver werden durch Semikolon getrennt angegeben:

CFTURBO_LICENSE=5053@rlmhost;5053@rlmhost2

Für Informationen zum Setzen von Umgebungsvariablen wenden Sie sich bitte an Ihre IT-Abteilung oder nutzen Sie die Windows-Dokumentation (z.B. http://support.microsoft.com/kb/310519).

2.1.3 Lizenz-Informationen anzeigen

Hier werden die aktuellen Lizenzinformationen dargestellt.

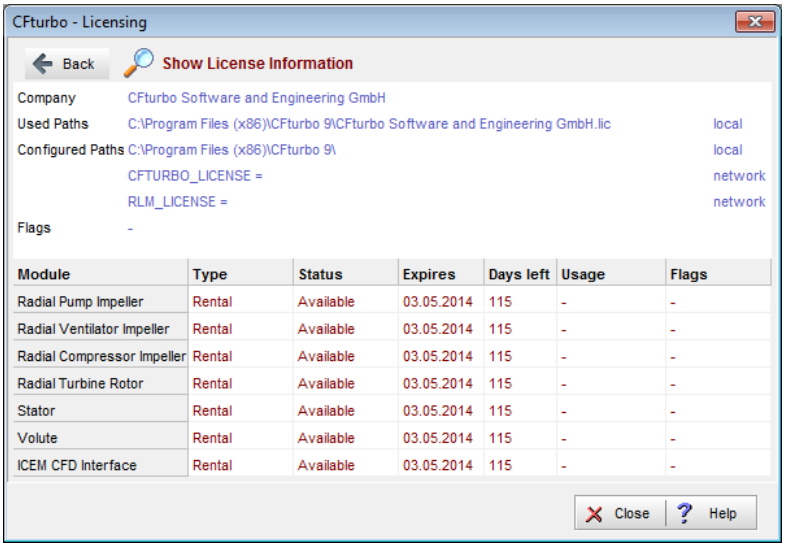
Die Firma (**Company**) dient nur zur Informationen.

Unter **Path** wird der Speicherort der Lizenzdatei angegeben sowie der Inhalt der Variablen angezeigt, welche für Netzwerklizenzen verwendet werden.

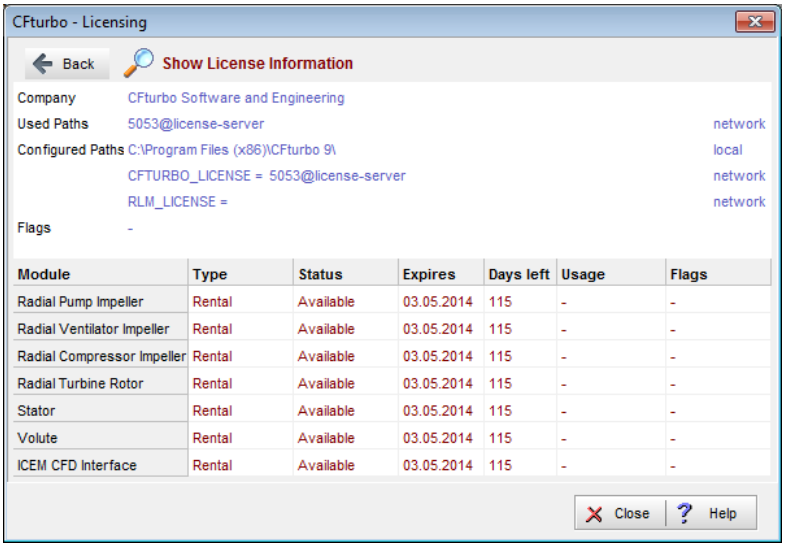
Flags sollten im Normalfall nicht vorhanden sein.

Unter **Error** wird gegebenenfalls die Fehlermeldung angezeigt, die bei der Prüfung der Lizenz aufgetreten ist.

© CFturbo Software & Engineering GmbH


CFturbo - Licensing
Back
Show License Information
Company CFturbo Software and Engineering GmbH
Used Paths C:\Program Files (x86)\CFturbo 9\CFturbo Software and Engineering GmbH.lic local
Configured Paths C:\Program Files (x86)\CFturbo 9\ local
CFTURBO_LICENSE = network
RLM_LICENSE = network
Flags -
Module Type Status Expires Days left Usage Flags
Radial Pump Impeller Rental Available 03.05.2014 115 - -
Radial Ventilator Impeller Rental Available 03.05.2014 115 - -
Radial Compressor Impeller Rental Available 03.05.2014 115 - -
Radial Turbine Rotor Rental Available 03.05.2014 115 - -
Stator Rental Available 03.05.2014 115 - -
Volute Rental Available 03.05.2014 115 - -
ICEM CFD Interface Rental Available 03.05.2014 115 - -
Close
Help

Eine lokale Lizenz wurde gefunden und verwendet

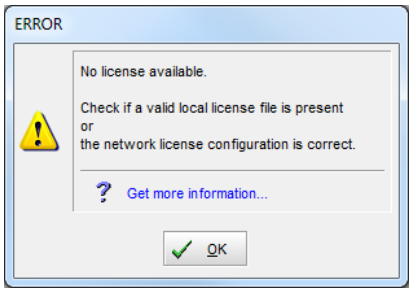

CFturbo - Licensing
Back
Show License Information
Company CFturbo Software and Engineering
Used Paths 5053@license-server network
Configured Paths C:\Program Files (x86)\CFturbo 9\ local
CFTURBO_LICENSE = 5053@license-server network
RLM_LICENSE = network
Flags -
Module Type Status Expires Days left Usage Flags
Radial Pump Impeller Rental Available 03.05.2014 115 - -
Radial Ventilator Impeller Rental Available 03.05.2014 115 - -
Radial Compressor Impeller Rental Available 03.05.2014 115 - -
Radial Turbine Rotor Rental Available 03.05.2014 115 - -
Stator Rental Available 03.05.2014 115 - -
Volute Rental Available 03.05.2014 115 - -
ICEM CFD Interface Rental Available 03.05.2014 115 - -
Close
Help

Es wurde keine lokale Lizenz gefunden, aber der Pfad zu einer Netzwerklizenz ist konfiguriert

2.1.4 Problemlösungen

Fehlermeldungen

Problem	Meldung	Ursache

Es ist keine Lizenz vorhanden.		Siehe Schritte der Lizenzierung 12

Diagnose-Konfiguration

CFturbo kann Diagnose-Informationen zur Lizenzierung ausgeben. Im Falle von Problemen kann durch Setzen der Umgebungsvariable *RLM_DIAGNOSTICS=<path for logfile>* eine Datei mit Diagnose-Informationen erzeugt werden. Beim anschließenden Ausführen von CFturbo wird die Datei erzeugt.

Die Ausgabe enthält u.a. folgende Informationen:

- Startzeit
- Arbeitsverzeichnis
- relevante Umgebungsvariablen
- die benutzte Lizenzdateien, in der Reihenfolge, wie CFturbo sie benutzen würde (kann von der normalen Reihenfolge abweichen wenn RLM_PATH_RANDOMIZE gesetzt ist)
- eine Liste von lokalen Lizenzen, die verwendet werden können

Lizenzserver-Probleme

Falls es bei der Installation oder dem Betrieb des Lizenzservers zu Problemen kommt können folgende Punkte geprüft werden:

- Dienst *"Reprise LM for CFturbo"* vorhanden und gestartet (Windows Dienste)
- Server Logfile (Installationsverzeichnis von Lizenzserver, *server.log* und *cfturbo.dlog*)
- Server Diagnose (Lizenzserver Web-Interface -> Diagnostics)

2.2 Batch-Mode

CFturbo kann im **Batch-Modus** ausgeführt werden, um Änderungen an einem Entwurf, ohne Nutzer-Interaktion und ohne Bildschirm-Darstellungen, vornehmen zu können. Wichtig ist dies beispielsweise für die Verwendung mit Optimierungssoftware.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Syntax:

cfturbo.exe -batch <batch file> [-verbose] [-export <interface name>]

Optionen:

-batch <batch file>	CFturbo im Batch-Modus ausführen. <batch file> kann entweder der Pfad zu einer Batch-Datei (siehe unten) oder einer CFturbo-Datei (*.cft) sein.
-verbose	Zeigt Log-Informationen auf der Kommandozeile an.
-export <interface name>	Legt die zu verwendende Export-Schnittstelle fest, s.a. Batch-Datei
-log <log file>	Schreibt Log-Informationen in die angegebene Datei

Alle Batch-Kommandos müssen in einer Datei (<batch file>) definiert werden.

Batch-Datei

Die Steuerung von CFturbo im Batch-Modus erfolgt durch eine Datei im XML-Format.
Eine Vorlage zu einem CFturbo-Projekt kann im Menü unter **Project | Export | Basic** 85 **| Batch mode template** erzeugt werden.

Aufgrund einer engen Beziehung zwischen dem CFturbo-Dateiformat und dem Format der Batch-Mode-Dateien sollten nur Template/Batch-Mode-Dateien genutzt, die mit der gleichen CFturbo-Version erstellt wurden wie die CFturbo-Datei. Nach einem Update von CFturbo kann ein aktualisiertes Template exportiert und die notwendigen Änderungen daran durchgeführt werden.

Ein exportiertes Batch-Mode-Template enthält alle änderbaren Parameter mit einer kurzen Beschreibung. Zusätzlich gibt es Vorlagen für Aktionen welche mit den entsprechenden Informationen für Pfad oder Export-Schnittstelle ergänzt werden müssen.

Datei-Struktur:

```
<?xml version="1.0" standalone="yes"?>
<CFturboFile Version="9">
    <CFturboBatchProject InputFile="<InputFileName>" />
        <Updates>
            [...]
```

© CFturbo Software & Engineering GmbH

```
            </Updates>
            <BatchAction .../>
        </CFturboBatchProject>
</CFturboFile>
```

Eine Batch-Datei kann mehrere Elemente vom Typ `CFturboBatchProject` enthalten, von denen jedes jeweils ein CFturbo-Projekt bearbeitet. Dies erlaubt die Kombination mehrerer Batch-Mode-Templates in einer Datei.

Alle Unterelemente sind optional und können, bis auf den `Updates`-Block (ein Mal pro `CFturboBatchProject-Element`), auch mehrfach vorkommen.

Das `InputFile`-Attribut des `CFturboBatchProject`-Elements enthält den absoluten Pfad zur CFturbo-Projektdatei.

Batch actions

Zur Weiterbearbeitung der Daten stehen 2 BatchActions zur Verfügung:

- `<BatchAction Name="Export" ExportInterface="STEP" WorkingDir="c:\Examples\Myexports" BaseFileName="Pump1_all" ModelState="Solids only"/>`

  Dient zum Export der Projektdaten unter Verwendung der von CFturbo unterstützten Schnittstellen.

  Standardmäßig wird die aktive Komponente (Predefined 3D model export/Point based export) oder die Geometrielemente entsprechend dem aktiven Model state (3D model export) exportiert.

  Abhängig von der verwendeten Export-Schnittstelle kann eine Auswahl der zu exportierenden Komponenten entweder durch das ModelState-Attribut (3D model export) oder das ExportComponents-Subelement (Predefined 3D model export/Point based export) getroffen werden. Für weitere Informationen zu den unterstützten Auswahloptionen **Project | Export** 79.

Attribut	Wert	optional	Beschreibung
`Name`	Export	nein	Name der Action
`ExportInterface`	e.g. "General"	nein	Zu benutzendes Exportformat Folgende Werte sind zulässig: `AutoCAD` `BatchTemplate`

			BREP
			Catia
			General
			GeneralXML
			IGES
			Inventor
			NumecaAG
			NumecaIGG
			PerformanceData
			Pointwise
			PumpLinx
			Report
			SolidWorks
			StarCCM
			STL
			TetraVolMesh
			VistaTF
`WorkingDir`	<existierender Pfad>	ja	Verzeichnis für exportierte Dateien
`BaseFileName`	<Dateiname>	ja	Basis-Dateiname für die zu exportierenden Dateien
`ModelState`	<existierender Model-State>	ja	Für Export zu verwendender Model-State
`AllComponents`	leer	ja	Alle Komponenten für Export auswählen. Es werden nur Komponenten exportiert, die von der jeweiligen Schnittstelle unterstützt werden.

Das `ExportComponents`-Subelement ist eine Liste der zu exportierenden Komponenten. Die Liste wird mit dem BatchMode-Template erstellt und sollte auf dessen Basis angepasst werden.

- **`<BatchAction Name="Save" OutputFile="C:\Testing\Examples\Impeller\Pump1_new.cft"/>`**

  Dient zum Speichern des ggf. durch Updates geänderten CFturbo-Projektes. Mit dieser Action wäre bspw. auch eine automatisierte Konvertierung in das aktuelle Dateiformat möglich. OutputFile gibt den vollständigen Pfad zur Datei an, in die gespeichert werden soll.

Für Details zu komponenten-spezifischen Parametern siehe:

➜ Parameter für Laufräder 30

➜ Parameter für Spiralgehäuse 34

Falls bestimmte Parameter, welche als änderbar aufgelistet sind, nicht im Batch-Mode-Template enthalten sind, liegt dies daran, dass sie im aktuellen Kontext des Projektes bedeutungslos sind. In diesem Fall sind die Werte nicht im Template enthalten. (z.B. Werte für Splitter-Schaufeln, falls keine Zwischenschaufeln aktiviert wurden).

© CFturbo Software & Engineering GmbH

2.2.1 Parameter für Laufräder/ Statoren

XML Tag (+attributes)	Beschreibung	Einheit
Main dimensions <MainDimensions>		
<dN>	Nabendurchmesser d_H	m
<dS> [1]	Saugmunddurchmesser d_S	m
<d1> [1]	Eintrittsdurchmesser (Vorderkante) d_1	m
<b1> [1]	Eintrittsrechts (Vorderkante) b_1	m
<d2> [1]	Laufraddurchmesser d_2	m
<b2> [1]	Austrittsbreite b_2	m
Meridional contour <Meridian>		
<Bezier4MerLE Name="GeoLeadingEdge"> <u-Hub> <u-Shroud>	Eintrittskantenposition auf Tragscheibenkurve (0…1) Eintrittskantenposition auf Deckscheibenkurve (0…1) Diese Werte haben Vorrang vor absoluten Koordinaten, die man den Bezierkontrollpunkten der Kantenkurve zuweist (siehe nächster Eintrag). Sie überschreiben somit den ersten und letzten Kontrollpunkt, wenn in Benutzung.	-
<Bezier4MerLE Name="GeoLeadingEdge"> <Points>	Kontrollpunkte der Eintrittskantenkurve. Anzahl der Kontrollpunkte hängt vom gewählten Kurventyp ab.[4] Siehe Meridianschnittkontur > Vorder- und Hinterkante 279	-
<Bezier4MerTE> <u-Hub> <u-Shroud>	Austrittskantenposition auf Tragscheibenkurve (0…1) Austrittskantenposition auf Deckscheibenkurve (0…1) Diese Werte haben Vorrang vor absoluten Koordinaten, die man den Bezierkontrollpunkten der Kantenkurve zuweist (siehe nächster Eintrag). Sie überschreiben somit den ersten und letzten Kontrollpunkt, wenn in Benutzung. Nur verfügbar wenn Austrittskante nicht am Austritt	-

© CFturbo Software & Engineering GmbH

XML Tag (+attributes)	Beschreibung	Einheit
	fixiert.	
<Bezier4MerTE> <Points>	Kontrollpunkte der Austrittskantenkurve. Anzahl der Kontrollpunkte hängt vom gewählten Kurventyp ab.[4] Siehe Meridianschnittkontur > Vorder- und Hinterkante 279 Nur verfügbar wenn Austrittskante nicht am Austritt fixiert.	-
<Bezier4MerLE Name="GeoSplitLeadingEdge" > <u-Shroud> <u-Hub>	Eintrittskantenposition der Zwischenschaufeln auf Tragscheibenkurve (0…1) Eintrittskantenposition der Zwischenschaufeln auf Deckscheibenkurve (0…1) Diese Werte haben Vorrang vor absoluten Koordinaten, die man den Bezierkontrollpunkten der Kantenkurve zuweist (siehe nächster Eintrag). Sie überschreiben somit den ersten und letzten Kontrollpunkt, wenn in Benutzung.	-
<Bezier4MerLE Name="GeoSplitLeadingEdge" > <Points>	Kontrollpunkte der Eintrittskantenkurve der Zwischenschaufeln. Anzahl der Kontrollpunkte hängt vom gewählten Kurventyp ab.[4] Siehe Meridianschnittkontur > Vorder- und Hinterkante 279	-
<ListObjectBezier4Mer Name="GeoHub">	Teilkontur der Tragscheibenkontur - enthält eine Menge von Kontrollpunkten, die vom gewählten Kurventyp abhängig ist.[4] Siehe Meridianschnittkontur > Hub-Shroud contour 269 (Verfügbar im Entwurfsmodus "Hub - Shroud")	-
<ListObjectBezier4Mer Name="GeoShroud">	Teilkontur der Deckscheibenkontur - enthält eine Menge von Kontrollpunkten, die vom gewählten Kurventyp abhängig ist.[4]	-

© CFturbo Software & Engineering GmbH

XML Tag (+attributes)	Beschreibung	Einheit
	Siehe Meridianschnittkontur > Hub-Shroud contour 269 (Verfügbar im Entwurfsmodus "Hub - Shroud")	
<ListObjectBezier4Mer Name="GeoMiddleLine">	Mittellinienkontur - enthält eine Menge von Kontrollpunkten, die vom gewählten Kurventyp abhängig ist.[4] Siehe Meridianschnittkontur > Design Modes 263 (Verfügbar im Entwurfsmodus "Middle")	-
Blade properties <BladeProperties>		
<nBl>	Schaufelanzahl n_{Bl}	-
<Count>	Anzahl der Schaufelprofile	-
<Beta1 Blade="0"> [2]	Schaufelwinkel (β_1) an der Eintrittskante der Hauptschaufel für jedes Schaufelprofil.	rad
<Beta2 Blade="0"> [2]	Schaufelwinkel (β_2) an der Austrittskante der Hauptschaufel für jedes Schaufelprofil.	rad
<Beta1 Blade="1"> [2 3]	Schaufelwinkel ($\beta_{1,Spl}$) an der Eintrittskante der Zwischenschaufel für jedes Schaufelprofil.	rad
<Beta2 Blade="1"> [2 3]	Schaufelwinkel ($\beta_{2,Spl}$) an der Austrittskante der Zwischenschaufel für jedes Schaufelprofil.	rad
<s1 Blade="0">	Schaufeldicken der Hauptschaufel am kleinen Schaufelradius. [Tragscheibe, Deckscheibe]	m
<s2 Blade="0">	Schaufeldicken der Hauptschaufel am großen Schaufelradius. [Tragscheibe, Deckscheibe]	m
<s1 Blade="1">	Schaufeldicken der Zwischenschaufel am kleinen Schaufelradius. [Tragscheibe, Deckscheibe]	m
<s2 Blade="1">	Schaufeldicken der Zwischenschaufel am großen Schaufelradius. [Tragscheibe, Deckscheibe]	m
<inc_RQ>	Incidence - Abweichung von stoßfreier Zuströmung (Q_shockless/Q_BEP) [Tragscheibe, Deckscheibe]	%

© CFturbo Software & Engineering GmbH

XML Tag (+attributes)	Beschreibung	Einheit
<inc_i>	Incidence-angle (Einfallswinkel) [Tragscheibe, Deckscheibe]	rad
Mean lines <SkeletonLines>		
<RelativeSplitterPosition>	Relative Position (tangential) der Austrittskante der Zwischenschaufeln zwischen benachbarten Hauptschaufeln.	%
<Bezier3SL> [3] [4]	Bezierkontrollpunkte der m,t-Darstellung zur Modifizierung der Umschlingungswinkel und der Skelettlinien (Schaufelform).	-
<BezierBetaSL> [3] [4]	Bezierkontrollpunkte der Beta-Verteilung zur indirekten Beeinflussung der Skelettlinien (Schaufelform).	-
Blade profiles <BladeProfiles>		
<BezFillProf Name="MBl">	Schaufeldickenverteilung entlang der Hauptschaufelprofile. (Bezierkurven für Druck- und Saugseiten [PS, SS])	-
<BezFillProf Name="SBl">	Schaufeldickenverteilung entlang der Zwischenschaufelprofile. (Bezierkurven für Druck- und Saugseiten [PS, SS])	-

[1] Es muss sichergestellt sein, dass die Hauptabmessungen nicht automatisch berechnet werden (siehe Laufrad Hauptabmessungen 192), damit diese Werte im Batch-Modus zur Verfügung stehen. Dazu muss die manuelle Berechnung deaktiviert und das Projekt gespeichert werden bevor es im Batch-Modus verwendet wird.

[2] Es muss sichergestellt sein, dass die automatische Berechnung der Schaufelwinkel deaktiviert ist (siehe Schaufeleigenschaften 299), damit Schaufelwinkel im Batch-Modus zur Verfügung stehen. Dazu muss die Option deaktiviert und im Projekt gespeichert werden bevor es im Batch-Modus verwendet wird.

[3] Die Werte für Zwischenschaufeln sind nur verfügbar wenn Ihre geometrische Definition sich nicht aus den Hauptschaufeln ableitet. Siehe Schaufeleigenschaften 290.

[4] Die Kontrollpunkte sind immer in Kartesischen Koordinaten gelistet. Sie können mit den selben Einschränkungen modifiziert werden die im interaktiven Entwurfsmodus gelten (Modifikationen die diesen Einschränkungen widersprechen werden korrigiert).
Explizite Kontrollpunktkoordinaten werden ebenfalls überschrieben falls zusätzliche relative Koordinaten für den Kontrollpunkt existieren. Relative Koordinaten werden unter der Liste der expliziten Koordinaten gelistet und sind so definiert wie in den entsprechenden Entwurfsdialogen spezifiziert (siehe Rechtsklick auf den Kontrollpunkt 42).

© CFturbo Software & Engineering GmbH

2.2.2 Parameter für Spiralgehäuse

XML Tag (+attributes)	Beschreibung	Einheit
Inlet definition <SpiralCasingBC>		
<FQ>	Förderstromfaktor F_Q	-
<MerInlet>	Eintritts-Geometrie Änderung von Eintrittsdurchmesser (d4) und EIntrittsbreite (b4) möglich	m
Diffuser <SpiralCasingDiff>		
<Bezier4Diff> <H6>	Diffusor-Höhe (h6). (Siehe Diffuser 418)	m
<Diameter> oder <Rectangle>	Dimension der 'End cross-section'. Abhängig von der Form des End-Querschnittes entweder der Durchmesser eines runden oder Höhe und Breite eines rechteckigen Querschnittes (Siehe Diffuser 418)	m

2.2.3 Exit Codes

CFturbo liefert folgende Exit Codes als Ergebnis eines Batch-Aufrufs:

Exit Code	Beschreibung
0	Die Ausführung wurde ohne Fehler und Warnungen beendet.
1	Während der Ausführung traten Warnungen aber keine Fehler auf.
2	Während der Ausführung traten Fehler auf.

2.2.4 Beispiele

Das folgende Beispiel einer CFturbo-Batch-Datei ändert die Anzahl der Schaufeln für das Pump1 Beispiel.

Anschließend wird das geänderte Projekt im Geometry-Format exportiert und unter

© CFturbo Software & Engineering GmbH

"Pump1_mod.cft" gespeichert.

```
<?xml version="1.0" standalone="yes"?>
<CFturboFile Version="9">
  <CFturboBatchProject InputFile="C:\Testing\Pump1.cft">
    <Updates>
      <CFturboProject Type="Object">
        <CFturboDesign_RadialImpeller Type="Object" Name="&lt;Radial
Impeller&gt;" Info="Cfturbo GmbH" Index="0" Desc="CFturbo component">
          <BladeProperties Type="Object" Desc="Blade properties">
            <nBl Type="Integer" Desc="Number of blades">7</nBl>
          </BladeProperties>
        </CFturboDesign_RadialImpeller>
      </CFturboProject>
    </Updates>
    <BatchAction Name="Export" ExportInterface="General" WorkingDir="C:\Testing
\" BaseFileName="Pump1_1_all" AllComponents="1"/>
    <BatchAction Name="Export" ExportInterface="General" WorkingDir="C:\Testing
\" BaseFileName="Pump1_9.1">
      <ExportComponents Type="Array" Count="1">
        <Value Type="Integer" Index="0">0</Value>
      </ExportComponents>
    </BatchAction>
    <BatchAction Name="Export" ExportInterface="STEP" BaseFileName="Pump1_9.1"
ModelState="Solids only">
      <ExportComponents Type="Array" Count="1">
        <Value Type="Integer" Index="0">0</Value>
      </ExportComponents>
    </BatchAction>
    <BatchAction Name="Save" OutputFile="pump1_mod.cft"/>
  </CFturboBatchProject>
</CFturboFile>
```

Zur Laufzeit wird eine <batch file>.log-Datei im Verzeichnis von <batch file> erzeugt:

```
29.10.2013 16:29:42 [INFO]       CFturbo 9.2  -  29.10.2013
```

© CFturbo Software & Engineering GmbH

```
29.10.2013 16:29:42 [INFO]       Time:              29.10.2013
16:29:42
29.10.2013 16:29:42 [INFO]       File:              c:\Testing
\pump1_m.cft-batch
29.10.2013 16:29:42 [INFO]       Logfile:           c:\Testing
\pump1_m.log
29.10.2013 16:29:42 [INFO]       Working directory: C:\Program Files
(x86)\CFturbo 9
29.10.2013 16:29:42 [INFO]       ***
29.10.2013 16:29:42 [INFO]       Reading batch file: c:\Testing
\pump1.cft-batch
29.10.2013 16:29:42 [INFO]       Starting batchproject for input
file: C:\Testing\Pump1.cft
29.10.2013 16:29:42 [INFO]       Open input file: C:\Testing
\Pump1.cft
29.10.2013 16:29:42 [INFO]       Update design parameters
29.10.2013 16:29:42 [INFO]       Running geometry update with data:
29.10.2013 16:29:42 [INFO]       <CFturboProject Type="Object">

<CFturboDesign_RadialImpeller Type="Object" Name="&lt;Radial
Impeller&gt;" Info="CFturbo Software
and Engineering GmbH - cft-senb1 (2/4/24)" Index="0" Desc="CFturbo
component">
<BladeProperties Type="Object" Desc="Blade properties">
     <nBl Type="Integer"
Desc="Number of blades">7</nBl>          </BladeProperties>      </
CFturboDesign_RadialImpeller>
</CFturboProject>
29.10.2013 16:29:42 [INFO]       Run design steps
29.10.2013 16:29:43 [INFO]       No hints.
29.10.2013 16:29:43 [INFO]        1: <Radial Impeller>: Blade
properties: Blade angles are updated
automatically. Therefore geometry modifications are possible.
```

© CFturbo Software & Engineering GmbH

```
29.10.2013 16:29:43 [INFO]        1: <Radial Impeller>: Model
finishing: currently NOT up-to-date
29.10.2013 16:29:43 [INFO]       Export-action found for format:
General
29.10.2013 16:29:43 [INFO]       Selecting all (1) components for
export!
29.10.2013 16:29:43 [INFO]       Saving export files successful,
export log:
29.10.2013 16:29:43 [INFO]       29.10.2013 16:29:43 [INFO]
File: C:\Testing\Pump1_9.1_all.
cft-geo successfully exported
29.10.2013 16:29:43 [INFO]       Export-action found for format:
General
29.10.2013 16:29:43 [INFO]       Saving export files successful,
export log:
29.10.2013 16:29:43 [INFO]       29.10.2013 16:29:43 [INFO]
File: C:\Testing\Pump1_9.1.
cft-geo successfully exported
29.10.2013 16:29:43 [INFO]       Export-action found for format: STEP
29.10.2013 16:29:43 [INFO]       No working directory set, using
default: C:\Testing\
29.10.2013 16:29:45 [INFO]       Run trimming
29.10.2013 16:29:47 [INFO]       Run fillet creation
29.10.2013 16:30:48 [INFO]       Saving export files successful,
export log:
29.10.2013 16:30:48 [INFO]       29.10.2013 16:30:43 [INFO]
Updated 3D data
29.10.2013 16:30:48 [INFO]       29.10.2013 16:30:43 [INFO]
Setting model state: Solids only
29.10.2013 16:30:48 [INFO]       29.10.2013 16:30:48 [INFO]
File: C:\Testing\Pump1_9.1.stp
successfully exported
```

© CFturbo Software & Engineering GmbH

```
29.10.2013 16:30:48 [INFO]       Save output file: c:\Testing
\pump1_mod.cft
29.10.2013 16:30:48 [INFO]       ***
29.10.2013 16:30:48 [INFO]       Batch mode terminated. (01:08.160
min)
```

2.3 Projektstruktur und Interfaces

Ein CFturbo-Projekt stellt eine komplette einstufige Maschine bzw. eine Stufe einer mehrstufigen Maschine dar. Entworfen werden die strömungsführenden Teile dieser Maschinen.

Project-Typen

Als Projekt-/Maschinentypen stehen zur Auswahl:

- Pumpe
- Ventilator
- Verdichter
- Turbine

Projekt-Struktur

Ein Projekt besteht aus den globalen Teilen

- Projekt-Informationen (Project information 67)
- Globales Setup (Global setup 67)
- Kennfeld-Vorhersage (Performance prediction 73)
- Ex 79port 79

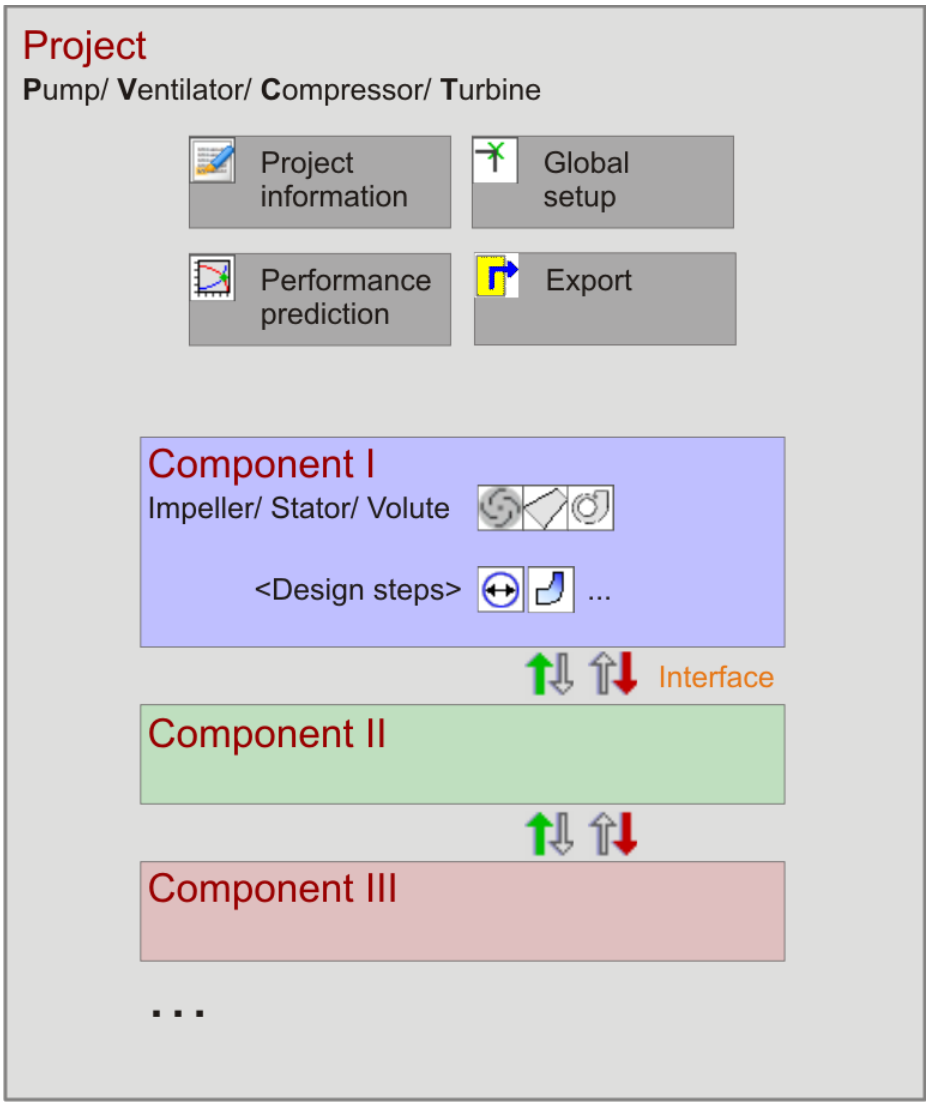
und den einzelnen Komponenten (Bauteilen). Folgende Komponenten können in einem Projekt auftreten:

- 1 Laufrad an beliebiger Stelle
- 1 Spiralgehäuse als letzte Komponente
- beliebig viele Statoren (beschaufelt oder unbeschaufelt)

Komponenten können direkt in der Komponenten-Ansicht 159 oder über das Projekt-Menü 130

© CFturbo Software & Engineering GmbH

hinzugefügt werden.



Interface zwischen Komponenten

Zwischen den einzelnen Komponenten existieren Interfaces, die ihre Kopplung beschreiben. Folgende Arten der Kopplung sind möglich:

© CFturbo Software & Engineering GmbH

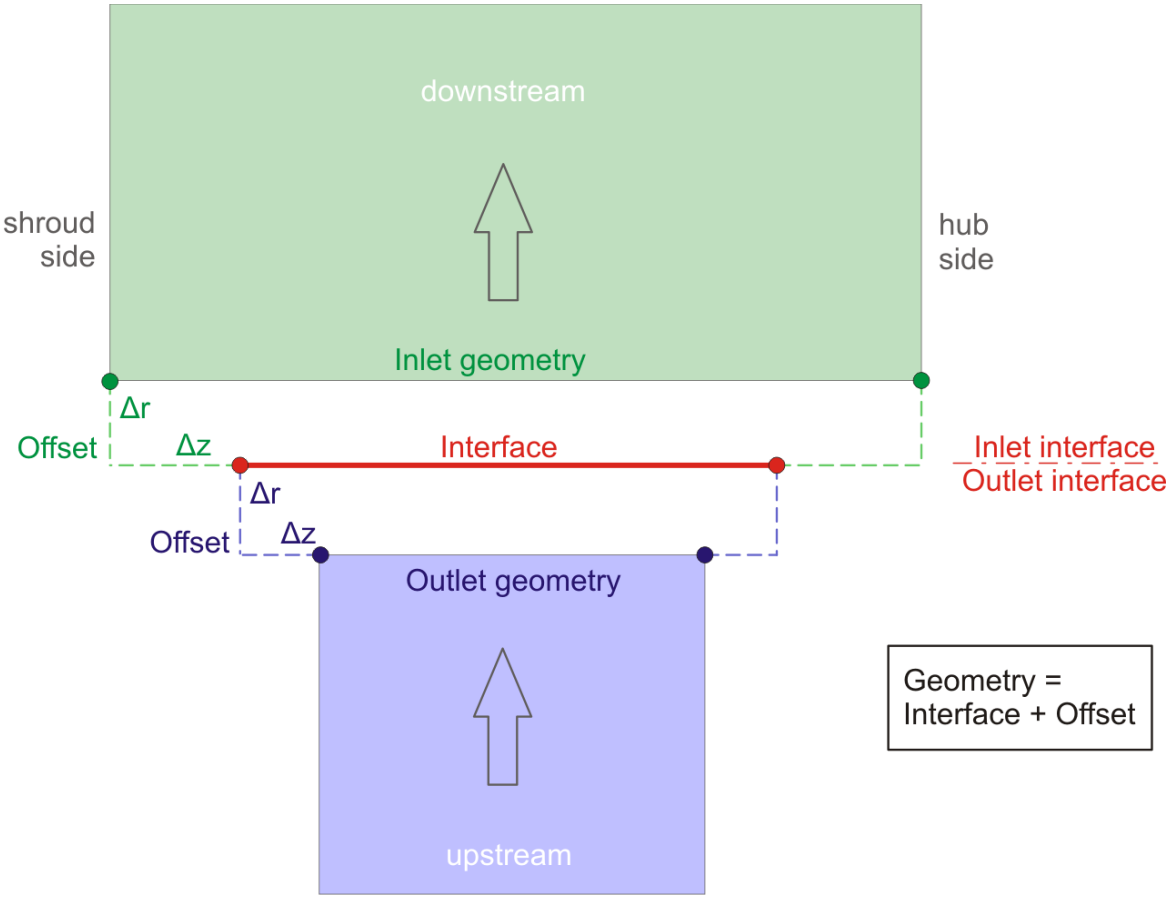
	Kopplung in Strömungsrichtung (Standard) Der Eintrittsquerschnitt einer Komponente wird bestimmt durch den Austrittsquerschnitt der Vorgänger-Komponente.
	Kopplung entgegen der Strömungsrichtung Der Austrittsquerschnitt einer Komponente wird bestimmt durch den Eintrittsquerschnitt der Nachfolger-Komponente.

Die Interface-Kopplung kann in der Komponenten-Ansicht 159 direkt an der Schnittstelle zwischen 2 benachbarten Komponenten eingestellt werden.

Laufräder als Kern einer Maschine haben die Besonderheit, dass sie sowohl am Eintritt als auch am Austritt immer die primäre Seite des Interfaces darstellen.

2.3.1 Interface-Definition

Die Skizze zeigt den generellen Aufbau eines Interfaces zwischen 2 benachbarten Komponenten:



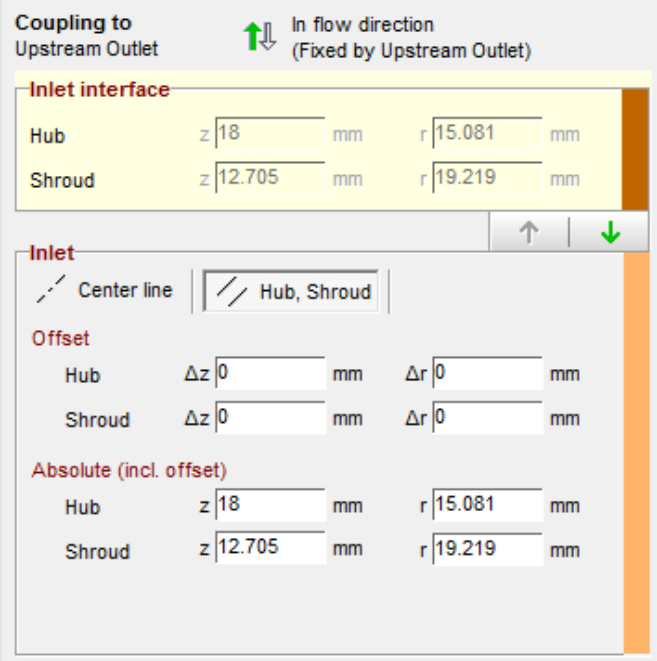
Primär/ Sekundär

Eine Seite (Komponente) des Interfaces ist immer primär, die andere sekundär. Die primäre Seite bestimmt die Lage des Interfaces (rot in der Skizze), die sekundäre richtet sich nach der primären Seite. Jede Seite kann optional ein Offset zum Interface definieren.

Ändert sich die Geometrie der primären Komponente und damit die Lage des Interfaces, so passt sich die Komponente mit dem sekundären Interface automatisch an. Ist eine Komponente deaktiviert (siehe Active/ Rename/ Delete 131), so erfolgt keine Anpassung - somit ist ein Überlappen benachbarter Komponenten möglich, was durch eine Warnung (siehe Components 159) verdeutlicht wird.

Interface-Definition

Die Interface-Definition am Eintritt des Spiralgehäuses (Inlet definition 394) sowie am Ein- und Austritt von Statoren (Inlet 382, Outlet 383) erfolgt auf einheitliche Weise.


Coupling to
Upstream Outlet
In flow direction
(Fixed by Upstream Outlet)
Inlet interface
Hub z 18 mm r 15.081 mm
Shroud z 12.705 mm r 19.219 mm
Inlet
Center line
Hub, Shroud
Offset
Hub Δz 0 mm Δr 0 mm
Shroud Δz 0 mm Δr 0 mm
Absolute (incl. offset)
Hub z 18 mm r 15.081 mm
Shroud z 12.705 mm r 19.219 mm

Coupling
Information zur Interface-Kopplungsrichtung

Inlet/ outlet interface
Interface-Position auf der Seite von Trag- und Deckscheibe (deaktiviert für sekundäre Interface-Seite)

↑ ↓
Koordinaten-Übertragung von Geometrie zu Interface und umgekehrt

Inlet/ Outlet
Definition der Geometrie optional über
- Punkte auf Trag- und Deckscheibe (Hub & Shroud)
- Punkt auf der Mittellinie (Center line), Breite und Winkel

Alternativ können absolute Koordinaten oder ein Offset verwendet werden, die automatisch ineinander umgerechnet werden.

Rotor-Stator-Interface

Das Rotor-Stator-Interface (RSI) am Laufradaustritt kann im CFD-Setup 359 des Laufrades definiert

© CFturbo Software & Engineering GmbH

werden, ansonsten liegt es direkt auf dem Laufradaustritt.

Strömungsrichtung (Winkel)

Neben den geometrischen Informationen ist die Strömungsrichtung eine wichtige Interface-Größe. Die Strömungsrichtung am Eintritt einer Komponente wird bestimmt durch die Strömungsrichtung am Austritt der stromaufwärts liegenden Komponente (Vorgänger). Die Abströmrichtung einer Komponente wird bestimmt durch die Richtung ihrer Schaufeln bzw. durch konstanten Drall in schaufellosen Bauteilen.

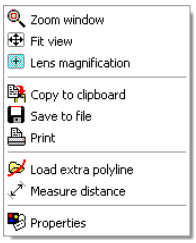
Die erste Komponente des Projektes hat keinen Vorgänger und bezieht ihre Information zur Zuströmrichtung aus der Vordralldefinition im Global setup 67.

2.4 Grafische Dialoge

Die meisten Dialoge für Komponenten-Entwurfsschritte beinhalten Diagramme zur 2D-Darstellung von Geometrien oder Verläufen. Die Benutzeroberfläche ist dabei einheitlich hinsichtlich der folgenden Eigenschaften.

Diagramm Popup-Menü

Alle grafischen Darstellungen erfolgen in Diagrammen, die automatisch entsprechend den dargestellten Objekten skaliert werden. Über das Popup-Menü des Diagramms (Rechtsklick auf leere Diagrammfläche) oder über die Schalter in der oberhalb angeordneten Symbolleiste können folgende grundlegende Funktionen realisiert werden:



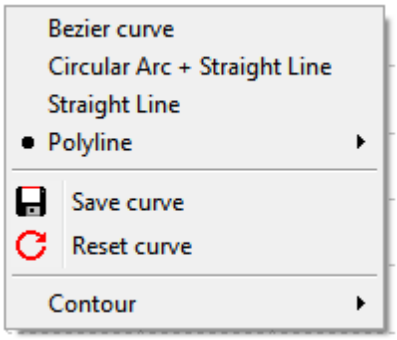
- Ausschnitt vergrößern (Bereich mit der Maus aufziehen)
- Gesamte Grafik anzeigen
- Vergrößerte Darstellung anzeigen
- Kopieren des Diagramms in die Zwischenablage
- Speichern des Diagramms als BMP, GIF, JPG, PNG oder WMF
- Ausdrucken des Diagramms
- Hinzufügen beliebiger Polylinien von Datei (x,y-Punktfolge) zum Vergleich
- Abstand mit der Maus messen
- Diagramm konfigurieren

Kontextsensitive Popup-Menüs

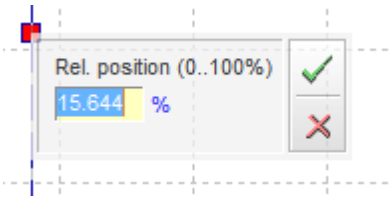
Wird die Maus über ein grafisches Objekt bewegt (z.B. Polylinie, Bezier-Punkt), so wird dieses farblich oder durch vergrößerte Liniendicke hervorgehoben. Ein Rechtsklick bezieht sich nun auf dieses Objekt und öffnet ein spezielles Popup-Menü oder einen kleinen Dialog zur Dateneingabe.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Für geometrische Konturen werden standardmäßig Bezierkurven verwendet. Diese stetigen Polylinien zeichnen sich dadurch aus, dass sie durch die Position weniger Bezierpunkte beschrieben werden können. Dadurch ist einerseits eine einfache Änderung der Kurve im grafischen Dialog möglich, andererseits ein exakte zahlenmäßig erfassbare Beeinflussung des Kurvenverlaufs.



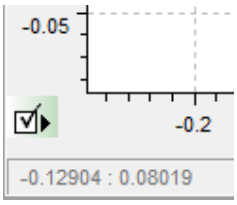
Für Bezier-Kurven sind Popupmenüs verfügbar, über die spezielle Aktionen bezüglich der Kurve realisiert werden können.

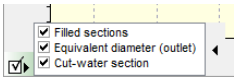


Alternativ zum Verschieben von Bezierpunkten per Maus können die exakten Koordinaten in einem kleinen Dialog verändert werden, der durch Rechtsklick auf den Bezier-Punkt angezeigt wird.

Je nach geometrischen Randbedingungen können ein oder zwei Koordinatenwerte eingegeben werden. In der Regel handelt es sich hierbei um relative Werte, die die Lage des Punktes zwischen den Extremwerten links bzw. unten (0) und rechts bzw. oben (1) beschreiben. Die Angabe relativer Koordinaten hat den Vorteil, dass eine automatische Aktualisierung des gesamten Entwurfs möglich ist, wenn ein Parameter verändert worden ist.

Anzeige-Optionen





Einige Diagramme (sowohl das Hauptdiagramm als auch die zusätzlichen Verlaufsdiagramme) haben verschiedene Anzeige-Optionen, um die Sichtbarkeit einiger Elemente ein- bzw. auszuschalten. Diese Anzeige-Optionen sind über ein Menü links unten im Diagramm erreichbar.

Der Zustand jeder Option wird intern gespeichert und bei der nächsten Nutzung wiederhergestellt.

Sonstiges

- Links unten in der Statuszeile werden die Koordinaten des Mauscursors im Format x:y angezeigt.

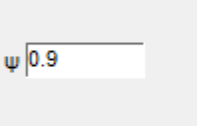
© CFturbo Software & Engineering GmbH

- Die Position und die Größe der Dialoge wird gespeichert, damit diese bei der nächsten Benutzung analog wiederhergestellt werden können.
- Handelt es sich um einen vom Programm automatisch erzeugten Erstentwurf, so ist rechts oben im Diagramm der Schriftzug Initial design eingeblendet.
- Werden Zahlenwerte in Tabellen eingegeben, so wird ein neuer Wert erst dann übernommen bzw. die Grafik aktualisiert, wenn die <Enter>-Taste betätigt bzw. eine neue Zelle der Tabelle ausgewählt wird.

2.5 Eingabefelder mit empirischen Funktionen

Einige Eingabefelder sind mit empirischen Funktionen 135 verknüpft. Dies wird deutlich, wenn man das Eingabefeld per Mausklick aktiviert.

Standard

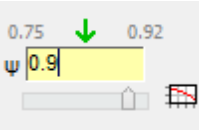


Standardmäßiges Aussehen des Eingabefeldes.

Mouse-over

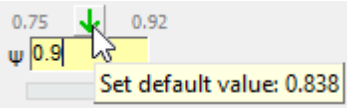
Aussehen, wenn sich die Maus über dem Eingabefeld befindet. Es werden min. und max. Wert angezeigt, sofern ein empfohlener Bereich verfügbar ist.

Ausgewählt



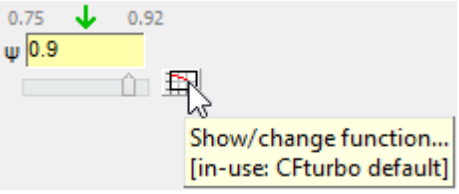
Aussehen, wenn das Eingabefeld den Fokus hat (Mausklick in das Feld). Wenn ein empfohlener Bereich verfügbar ist, werden min. und max. Wert angezeigt sowie ein Schieberegler unterhalb.

Standardwert



Außerdem kann über den Pfeil-Schalter oberhalb der Standardwert eingestellt werden. Der Zahlenwert wir als Hint angezeigt.

Empirische Funktion



Über den Diagramm-Schalter rechts kann die entsprechende empirische Funktion angezeigt werden. Außerdem ist die gerade ausgewählte Funktion als Hint dieses Schalters sichtbar.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

2.6 Fehler-Berichte

CFturbo enthält Funktionen um aufgetretene Fehler an das Support-Team zu melden.

Da uns Fehler-Berichte beim Finden und Beheben von Fehler helfen **empfehlen wir stets**, die Berichte zu senden und alle Informationen die zur Reproduktion des Fehlers notwendig sind hinzuzufügen.

Wenn ein Fehler auftritt erscheint ein Fenster mit 3 Optionen:

- Send bug report

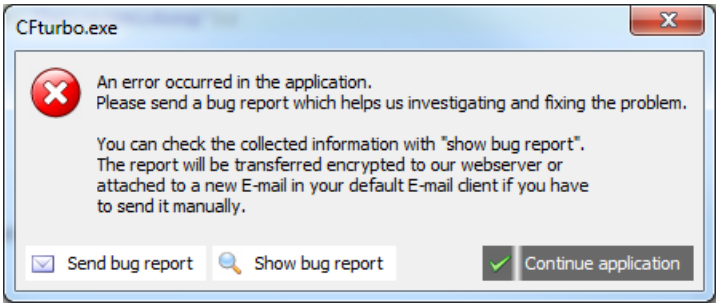
  Der *Send assistant* fragt nach den Kontaktinformationen und ermöglicht die Konfiguration des Fehler-Berichts. Anschließend wird der Bericht verschlüsselt an unseren Web-Server übertragen.

- Show bug report

  Anzeige der im Fehler-Bericht enthaltenen Informationen

- Continue application

  Arbeit mit CFturbo ohne Fehler-Bericht fortsetzen

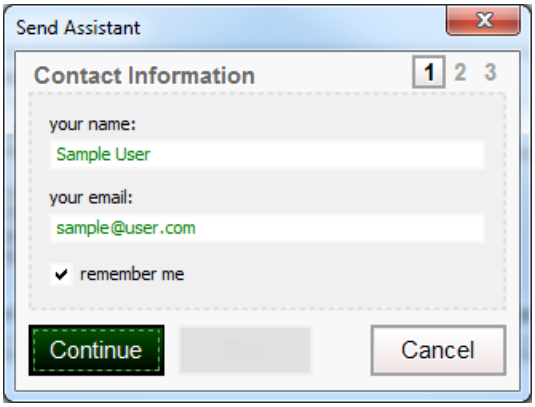

CFturbo.exe
An error occurred in the application.
Please send a bug report which helps us investigating and fixing the problem.
You can check the collected information with "show bug report".
The report will be transferred encrypted to our webserver or
attached to a new E-mail in your default E-mail client if you have
to send it manually.
Send bug report
Show bug report
Continue application

Send assistant

Der *Send Assistant* hilft beim Verschicken des Fehler-Berichtes.

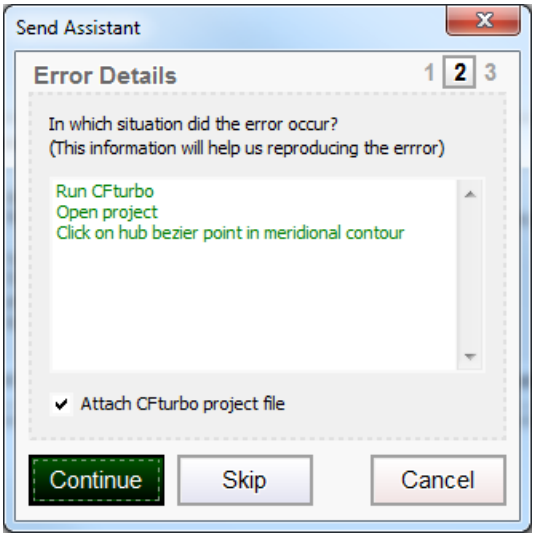
Im ersten Schritt müssen die Kontaktinformationen angegeben werden, damit das Support-Team Kontakt aufnehmen kann falls zusätzliche Informationen benötigt werden oder eine Lösung für das Problem vorliegt.

© CFturbo Software & Engineering GmbH



Schritt 2 bietet die Möglichkeit zu beschreiben, in welcher Situation das Problem aufgetreten ist. Beachten Sie, dass es äußerst hilfreich ist, wenn der Fehler reproduziert werden kann.

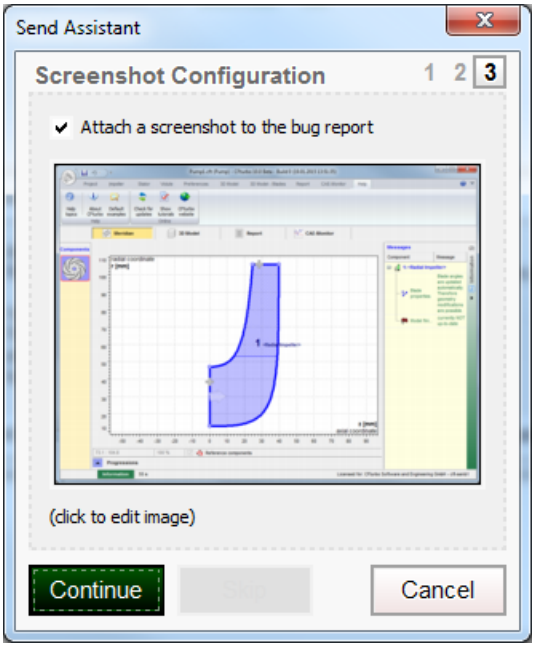
Es kann hier ebenfalls gewählt werden, ob das aktuell geladene Projekt zum Bericht hinzugefügt werden soll.



Abschließend wird noch der Screenshot angezeigt, welcher dem Bericht hinzugefügt wird. Dies kann auf Wunsch abgewählt werden.

Mit *Continue* wird der Fehler-Bericht verschlüsselt an unseren Web-Server übertragen.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

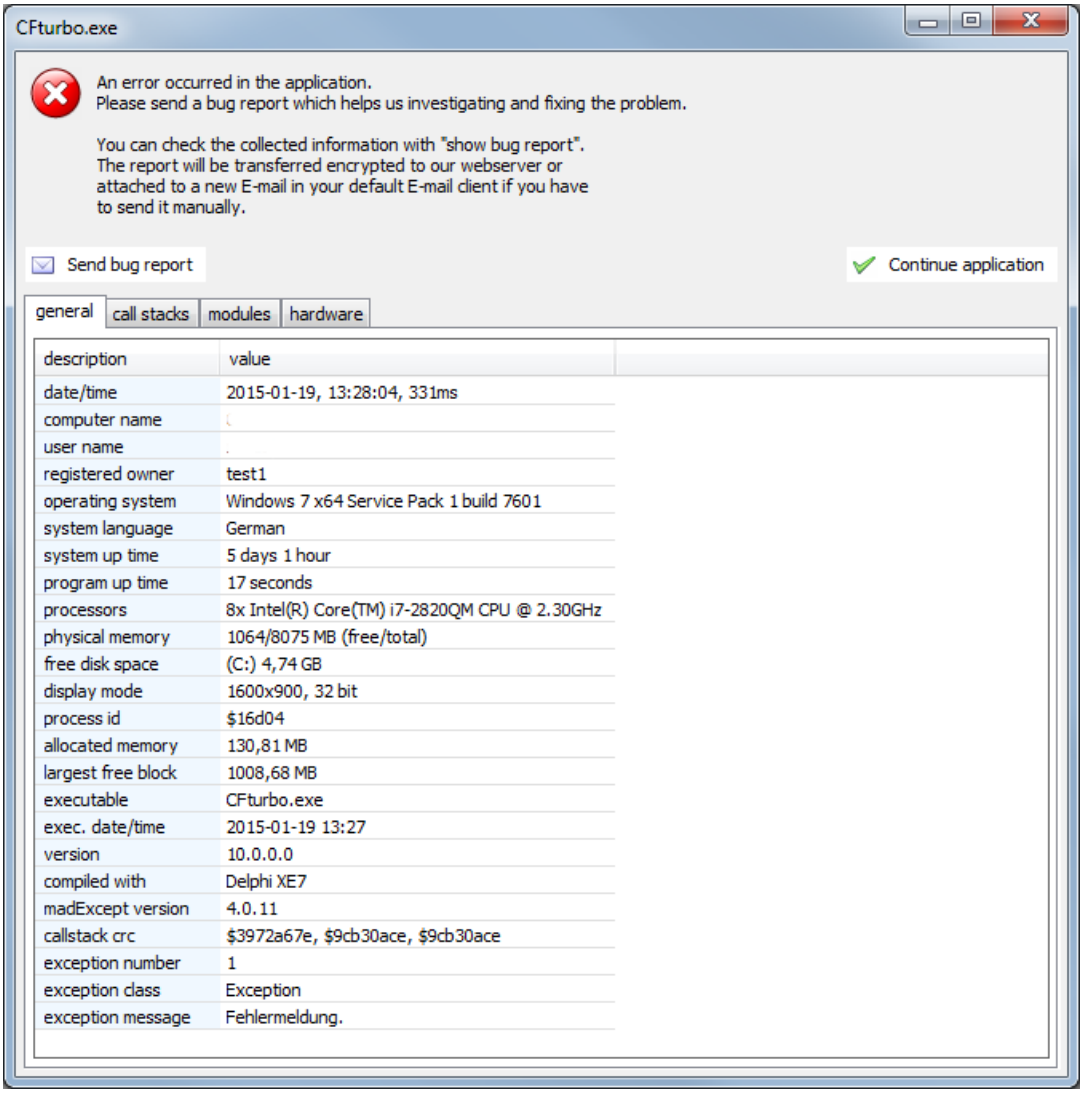


Falls das automatische Versenden fehlschlägt, weil bspw. keine Internetverbindung besteht, wird im Standard-Mail-Programm eine vorbereitete Mail erstellt. Diese enthält alle Informationen und Anhänge und muss manuell gesendet werden.

Detailansicht

Die Detailansicht zeigt alle Informationen die für den Fehlerbericht gesammelt wurden. Dies schließt Informationen über den Fehler, den Zustand von CFturbo sowie grundlegende Informationen über das ausführende System ein.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

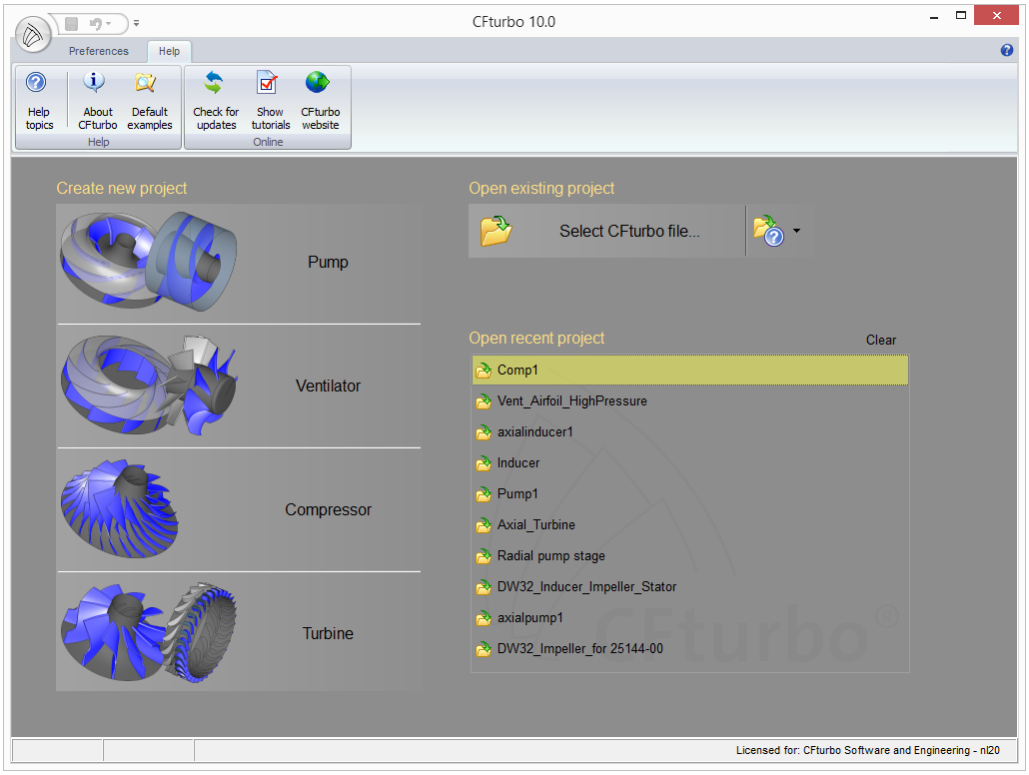


© CFturbo Software & Engineering GmbH

Teil III

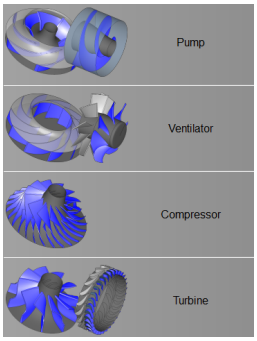
3 Start

Nach dem Starten des Programms erscheint folgender Bildschirm:



Create new project

Im linken Bereich kann ein neues Projekt angelegt werden, wobei der Maschinen-Typ festgelegt werden muss:



- Pumpe
- Ventilator
- Verdichter
- Turbine

Diese 4 großen Schaltflächen entsprechen dem Menüpunkt File/ New 63.

Nach dem Anlegen eines neuen Projektes wird automatisch der Global Setup

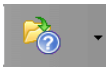
67 Dialog gestartet.

Danach können dem Projekt verschiedene Komponenten hinzugefügt 130 werden.

Open existing project

Hier können vorhandene Projekte geöffnet werden:

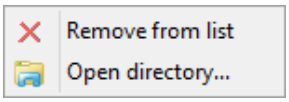
Öffnen eines beliebigen CFturbo-Projektes (*.cft) über einen Dateiauswahl-Dialog
(entspricht dem Menüpunkt "File/ Open" 65)



Öffnen eines der CFturbo-Standardbeispiele aus dem Installationsverzeichnis

Open recent project

Hier kann eines der 10 zuletzt geöffneten Projekte ausgewählt werden. Der volle Dateiname wird als Hint angezeigt, wenn man den Mauszeiger über einen der Einträge bewegt.



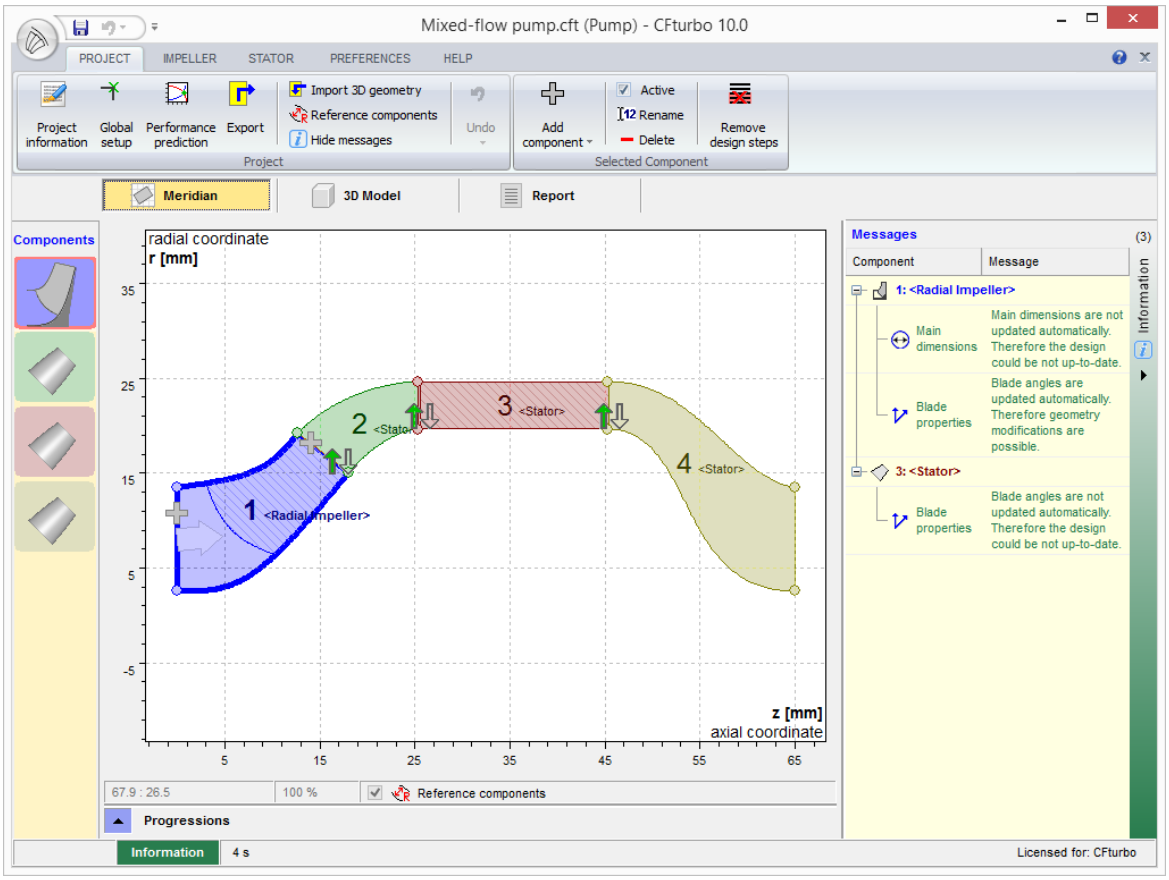
Die gesamte Liste kann mit Hilfe des Schalters **Clear** rechts oberhalb geleert werden und es kann ein Popup-Menü durch Rechtsklick auf einen der Einträge geöffnet werden, das das Löschen einzelner Einträge und das Öffnen des entsprechenden Verzeichnisses ermöglicht.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Teil IV

4 Geöffnetes Projekt

Nach dem Erzeugen eines neuen Projektes oder dem Öffnen eines existierenden sieht das Hauptfenster folgendermaßen aus:



Ganz oben befindet sich das Menü 61 (Multifunktionsleiste/Ribbon) mit Zugriff auf alle Funktionen. Einige der Seiten sind kontextsensitiv.

Das CFturbo Programmfenster ist in drei Hauptbereiche unterteilt:

a) Komponentenliste auf der linken Seite

Diese geordnete Liste enthält alle Komponenten des Projektes als Icons. Die derzeit selektierte Komponente ist umrandet.

Durch Klicken auf das Icon wird die entsprechende Komponente selektiert (alternativ kann auf die Komponente in der Meridianansicht 159 geklickt werden).

Nach Auswahl einer Komponente wechselt die Multifunktionsleiste entweder zum Projekt-Register oder der Registerkarte für diesen Komponenten-Typ (konfigurierbar, siehe Allgemeine Einstellungen

© CFturbo Software & Engineering GmbH

146). Das Kontextmenü der Icons erlauben das (De)Aktivieren, Umbenennen und Löschen der Komponenten.

Die folgenden Komponententypen sind möglich:

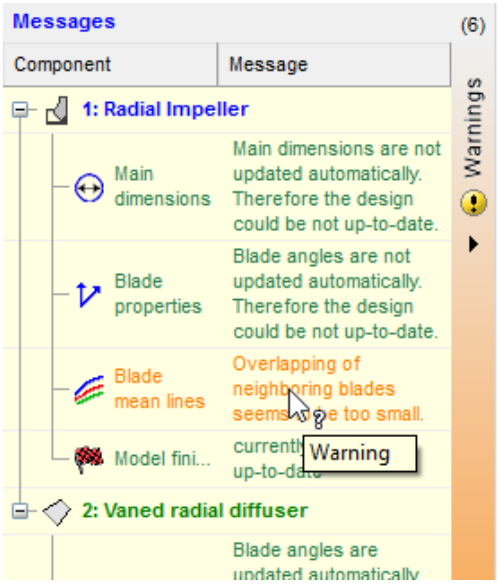
- Radiales oder halbaxiales Laufrad
- Axiales Laufrad
- Stator (beschaufelt oder unbeschaufelt)
- Spiralgehäuse

b) Drei alternative Ansichten im zentralen Bereich

siehe Ansichten 158

c) Nachrichtenbereich auf der rechten Seite

Der Nachrichtenbereich beinhaltet Fehler (rot), Warnungen (orange) und Informationen (grün) für alle Komponenten des Projektes. Zusätzlich wird der Designschritt angegeben, der Ursache für die Meldung ist.
Es liegt im Ermessen des Nutzers, Warnungen zu akzeptieren oder den Entwurf durch geeignete Maßnahmen dahingehend zu ändern, dass diese Meldungen nicht mehr auftreten. Ursachen für Fehler sollten behoben werden.



Der Typ einer Meldung (Warning/ Error/ Information) wird beim Überfahren mit der Maus angezeigt.

Falls ein Link zur Hilfe vorhanden ist, der eine genauere Beschreibung und Hinweise zum Umgang mit dieser Meldung enthält, wird ein Fragezeichen neben dem Mauszeiger sichtbar. Diesem Link kann per Mausklick gefolgt werden. Optional kann die betroffene Komponente gleichzeitig selektiert werden, falls sie nicht bereits ausgewählt ist.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Teil V

5 Komponenten Entwurfsprozess

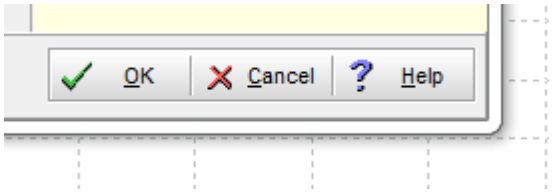
Während des Entwurfsprozesses für CFturbo Projektkomponenten muss eine für jeden Komponententyp spezifische Abfolge von obligatorischen Entwurfsschritten absolviert werden (siehe Überblick Laufrad 180, Spiralgehäuse 393, Stator 377).

Nachdem der grundlegende Entwurfsprozess für eine Komponente abgeschlossen ist, werden optionale Entwurfsschritte verfügbar die der Weiterverarbeitung der Projektkomponenten mit CAD und CFD Software dienen. Details dazu finden Sie in den Kapiteln Model-Fertigstellung 370 und CFD-Setup 359.

Jeder Entwurfsschritt besitzt seinen eigenen Dialog, den man über die der Komponente entsprechenden Registerseite im Hauptmenü 134 oder das Kontextmenü der Komponente 160 in der Meridianansicht erreicht.

Entwurfsschrittdialog - Grundlegende Bedienelemente

CFturbo-Dialoge besitzen für gewöhnlich die folgenden grundlegenden Bedienelemente

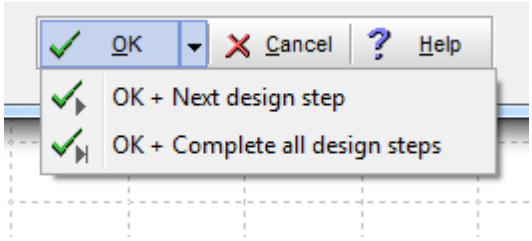


OK	• Schließt den Dialog und speicherst alle Änderungen des aktuellen Entwurfsschrittes ins Projekt.
Cancel	• Schließt den Dialog und verwirft alle gemachten Änderungen.
Help	• Öffnet den Hilfe-Eintrag zum momentan bearbeiteten Entwurfsschritt.

Schnelle Navigation und Automatischer Komponentenentwurf

Dialoge die sich auf grundlegende (obligatorische) Entwurfsschritte beziehen, bieten erweiterte Bedienmöglichkeiten:

© CFturbo Software & Engineering GmbH



OK + Next design step

- Schließt den Dialog und Öffnet den Dialog des folgenden Entwurfsschrittes. Änderungen im aktuellen Entwurfsschritt werden dabei gespeichert
- Dieses Feature erlaubt die schnelle Navigation durch alle notwendigen Entwurfsschritte um kleine Modifikationen schneller und komfortabler in ein bestehendes Design einzupflegen
- Diese Option ist nur verfügbar wenn die bearbeitete Komponente nachfolgende Entwurfsschritte hat die zu den grundlegenden Entwurfsschritten gehören. Andernfalls ist die Option ausgegraut.

OK + Complete all design steps

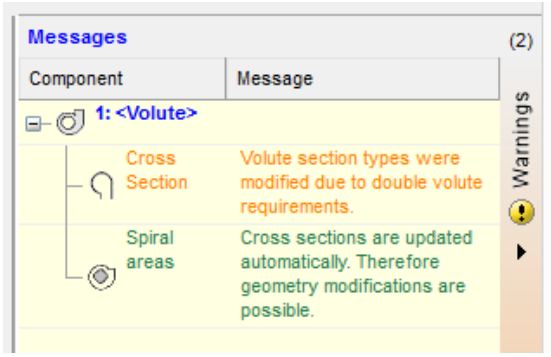
- Schließt den Dialog und speichert alle Änderungen des aktuellen Entwurfsschrittes. Anschließend werden alle nachfolgenden obligatorischen Entwurfsschritte der Komponente mit Standardwerten und -Einstellungen durchlaufen.
- Diese Option ist nur verfügbar wenn die bearbeitete Komponente nachfolgende Entwurfsschritte hat die noch nie erfolgreich bearbeitet bzw. vorher aus dem Projekt entfernt 133 wurden. Andernfalls ist die Option ausgegraut.
- Man kann diese Option nutzen um unmittelbar nachdem Hauptabmessungen und Interfaces einer Komponente definiert sind, in Sekundenschnelle einen vorläufigen **automatisch erstellten Entwurf** zu erhalten. Man kann schließlich im nachhinein alle nötigen Entwurfsparameter gemäß den eigenen Anforderungen ändern.
- Der automatische Entwurf kann unter Umständen nicht erfolgreich komplettiert werden bzw. zu unbefriedigenden Resultaten führen. Das kann der Fall sein wenn Projekteinstellungen und/oder vorher bearbeitete Entwurfsschritte zu Konfigurationen führen die sich nicht mit den Strategien des Automatischen Entwurfs vertragen. In diesem Fall geben Mitteilungsfenster und Warnungen im Nachrichtenbereich 54 nähere Auskunft.

Update-Warnungen

Nach jeder Änderung des Entwurfs werden alle abhängigen Entwurfs-Schritte automatisch aktualisiert. In einigen Fällen kann es notwendig werden, einige Eigenschaften von abhängigen Entwurfsschritten automatisch zu verändern, um Entwurfs-Grenzen zu berücksichtigen oder

© CFturbo Software & Engineering GmbH

geometrische Konflikte zu vermeiden. In diesen Fällen wird eine Meldung zur Information angezeigt:



Diese nformationen werden ebenso im Bereich **Messages** rechts im Hauptfenster dargestellt.

Siehe auch Geöffnetes Projekt/ Nachrichtenbereich auf der rechten Seite 54

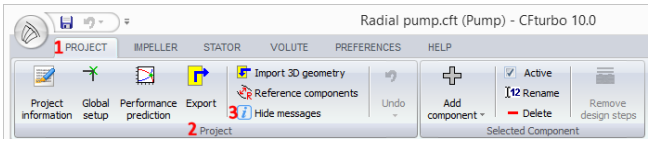
Normalerweise sind weitere Erläuterungen in der Online Hilfe zu finden, die durch Klicken auf den Meldungstext angezeigt werden können.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Teil VI

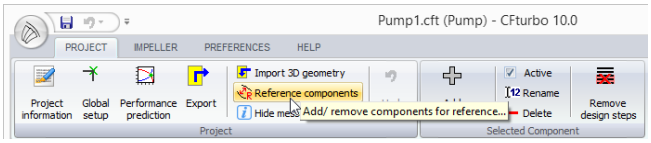
6 Menü

In CFturbo sind alle Menüs des Hauptfensters in einer Multifunktionsleiste mit einzelnen Registerkarten angeordnet, welche die Befehls-Schaltflächen enthalten.

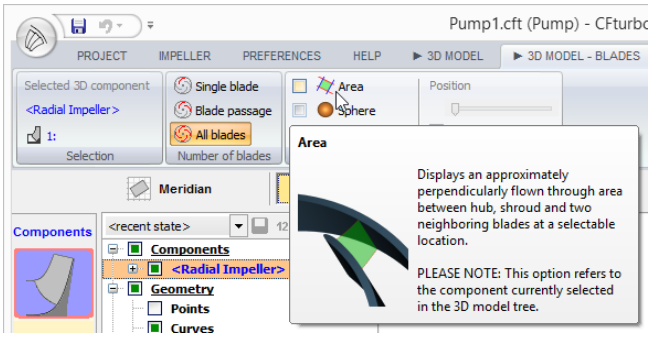


Jede Registerkarte (1) enthält Gruppen (2) mit verwandten Befehlen (3).

Die Schaltflächen enthalten - sofern sie nicht selbsterklärend sind - Hinweise, die beim Berühren mit dem Mauszeiger sichtbar werden.



Manche Schaltflächen zeigen komplexere Hinweise, wenn die Funktion erklärungsbedürftiger ist.



Über den -Button ist das File-Menü 63 erreichbar. Daneben befindet sich die Schnellstartleiste, die per Kontextmenü angepasst werden kann.

Die Registerkarten fassen Befehle funktionsbezogen zusammen:

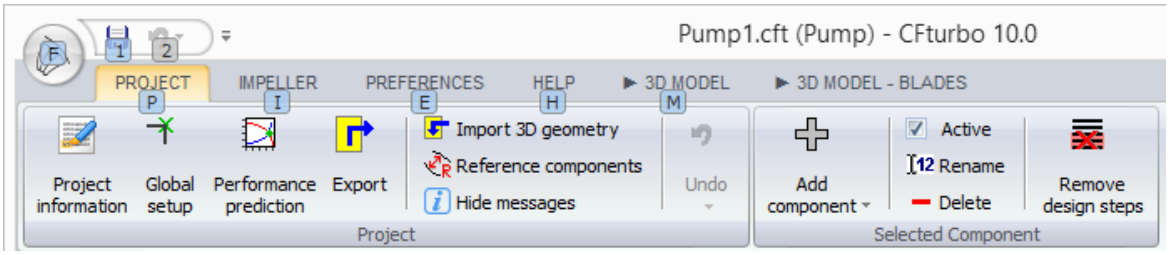
Registerkarte	sichtbar	
PROJECT 66	wenn ein Projekt geöffnet ist	
IMPELLER 134	wenn das aktuelle Projekt die entsprechende Komponente enthält	Laufrad 180
STATOR 134		Stator 377
VOLUTE 134		Volute 393
PREFERENCES 135	immer	

HELP 155		
? 3D MODEL 154	wenn die entsprechende Ansicht selektiert ist	3D Modell 163
? 3D-MODEL - BLADES 154		
? REPORT 155		Report 178

Tastenkombinationen

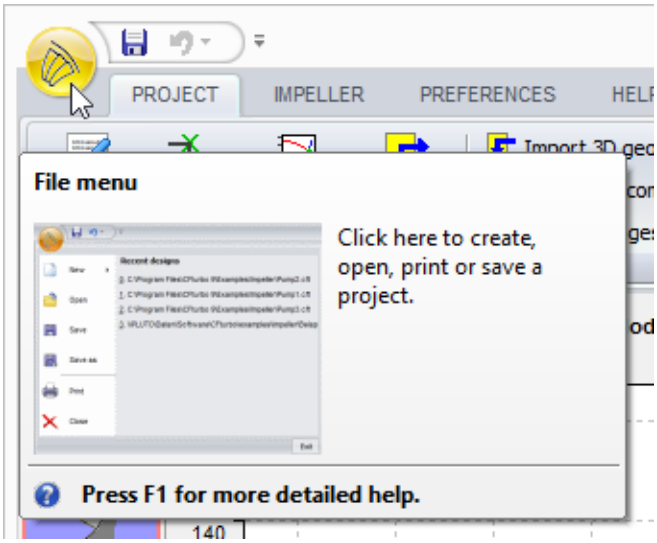
Es werden Zugriffstatsteninfos angezeigt, wenn die ALT-TASTE gedrückt und wieder losgelassen wird.

Um einen Befehl auszulösen, müssen nacheinander die ALT-TASTE und die entsprechende(n) Zugriffstaste(n) gedrückt werden.



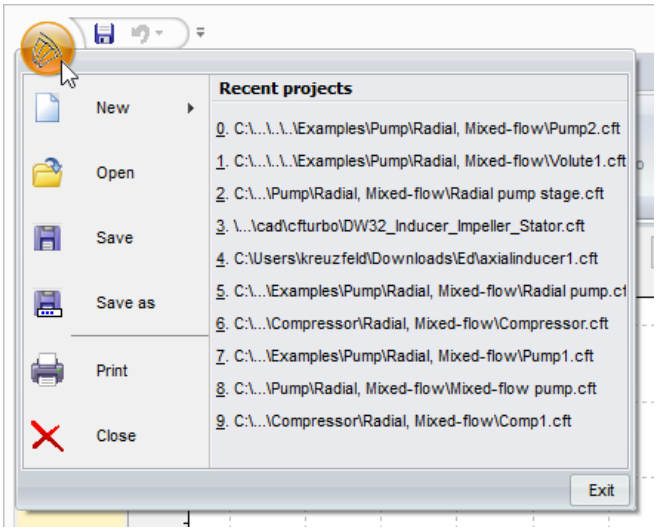
6.1 File

Das File-Menü befindet sich ganz links im Hauptmenü und enthält die grundlegenden Dateioperationen.



Rechts neben den Menüeinträgen kann über die Liste eine der zuletzt genutzten Dateien geöffnet werden.

Diese Liste ist ebenfalls direkt im Hauptfenster nach dem Programmstart sichtbar (siehe Start 50).



6.1.1 Neuen Entwurf beginnen

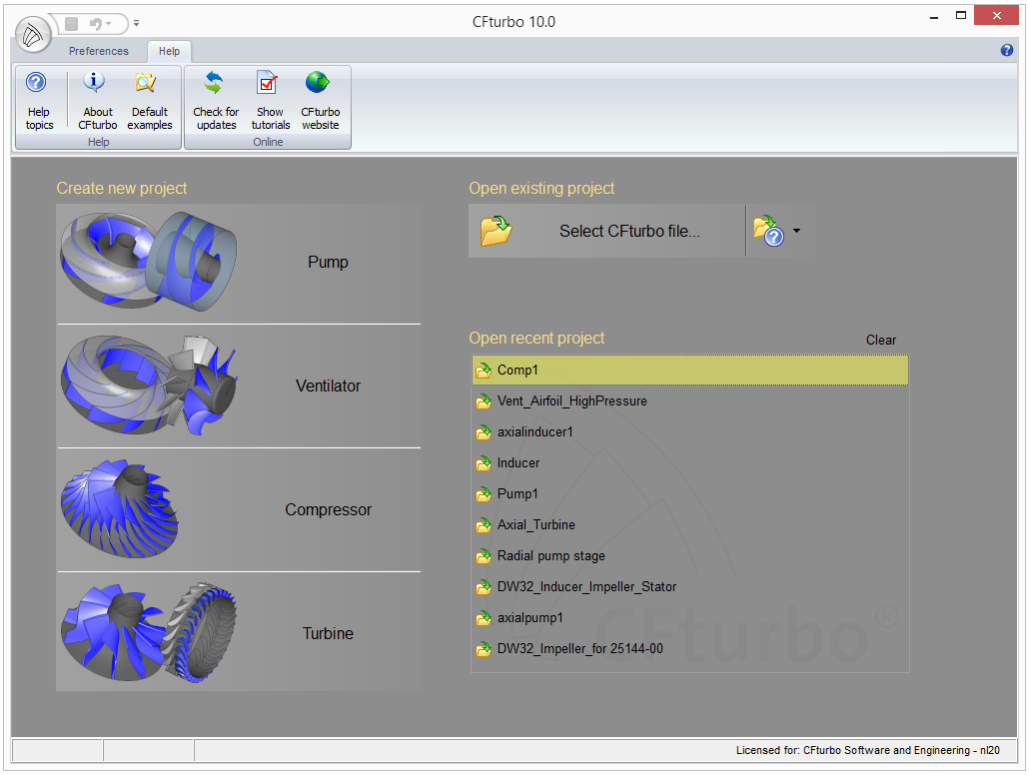
? File | New

Beim Neuentwurf kann zwischen 4 verschiedenen Projekt-Typen ausgewählt werden:

© CFturbo Software & Engineering GmbH

- Pumpe
- Ventilator
- Verdichter
- Turbine

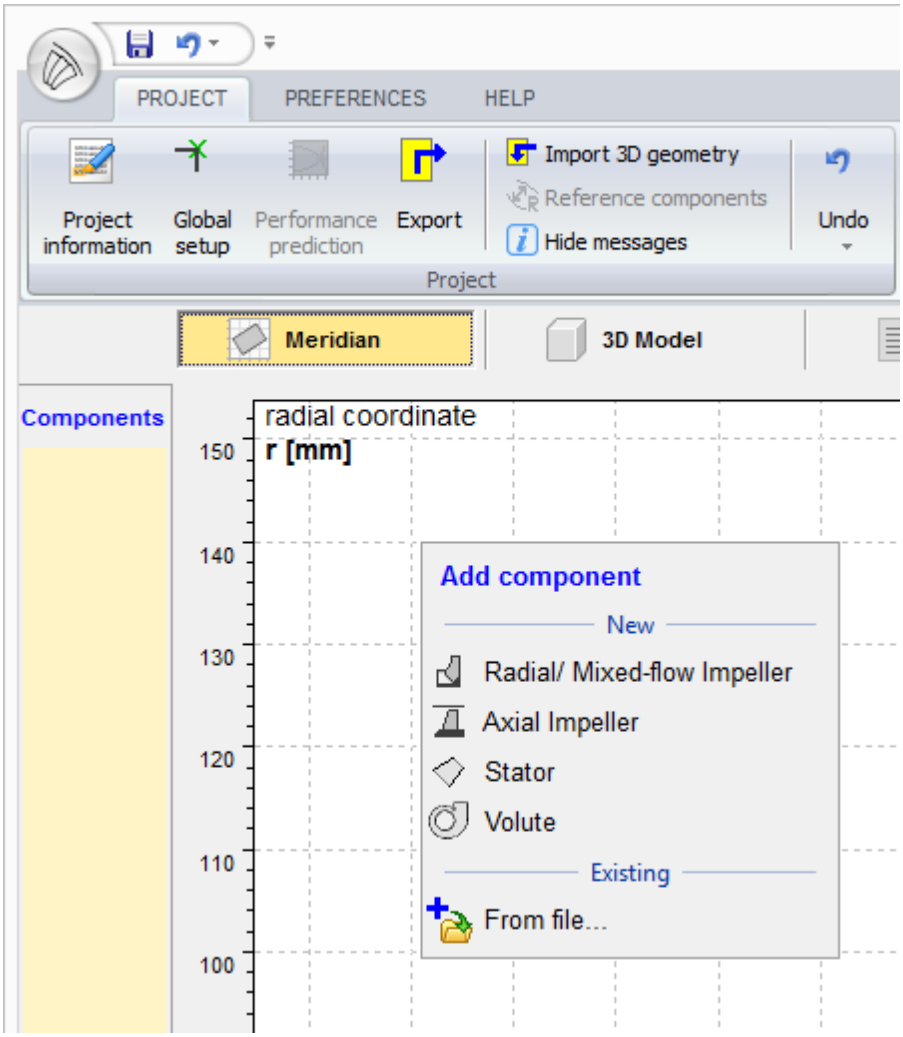
Alternativ zum Menüpunkt bzw. dem Schalter in der Toolbar können auch die großen Schalter im Bereich **Create new project** genutzt werden, siehe Start 50.



Nach dem Anlegen eines neuen Projektes wird automatisch der Global Setup 67-Dialog gestartet.

Nach der Fertigstellung des Global Setup ist ein leeres Projekt zu sehen und es können Komponenten hinzugefügt werden.

© CFturbo Software & Engineering GmbH



6.1.2 Öffnen/ Speichern von Entwürfen

? File | Open/ Save/ Save as

CFturbo-Entwürfe werden als *.CFT-Dateien (XML-Dateiformat) gespeichert.

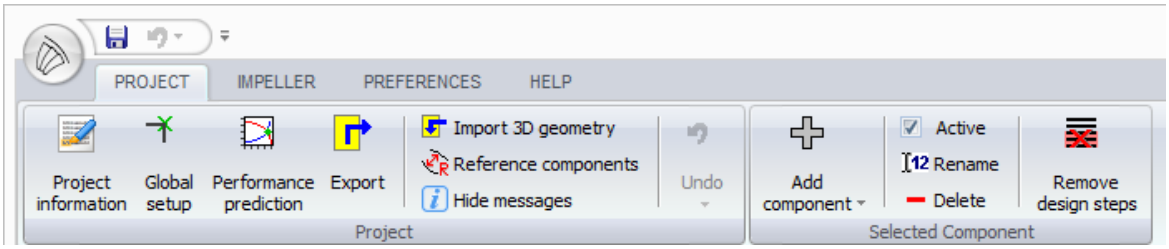
Beim Öffnen kann auf eine Liste der zuletzt geöffneten Dateien zurückgegriffen werden, die neben dem File-Menü angezeigt wird. Alternativ kann auch direkt aus der Liste unter **Open Recent Design** ausgewählt werden, wenn kein Entwurf geöffnet ist, siehe Start 50.

Der Dateiname selbst kann mit **Save as** beliebig verändert werden, so dass verschiedene Varianten unter unterschiedlichen Namen gespeichert werden können.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

6.2 PROJECT

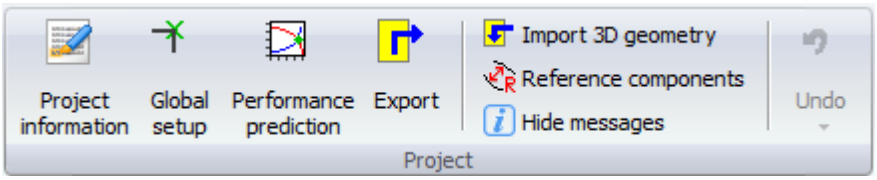
Ein Projekt kann aus mehreren Komponenten bestehen (siehe Projektstruktur und Interfaces 38). Die Komponenten werden separat entworfen, wobei sie sich aus geometrischer und strömungstechnischer Sicht an den Interfaces beeinflussen.



Das Project-Menü enthält alle diejenigen Aktionen, die sich auf das Gesamtprojekt beziehen (Gruppe Project 66) oder auf die derzeit selektierte Komponente (Gruppe Selected Component 130).

6.2.1 Project

Die Gruppe **Project** enthält alle diejenigen Aktionen, die sich auf das Gesamtprojekt beziehen.



- Project information 67
- Global setup 67
- Performance prediction 73
- Export 79
- Import 3D geometry 125
- Reference components 125
- Show/Hide messages 129
- Undo 129

© CFturbo Software & Engineering GmbH

6.2.1.1 Project information

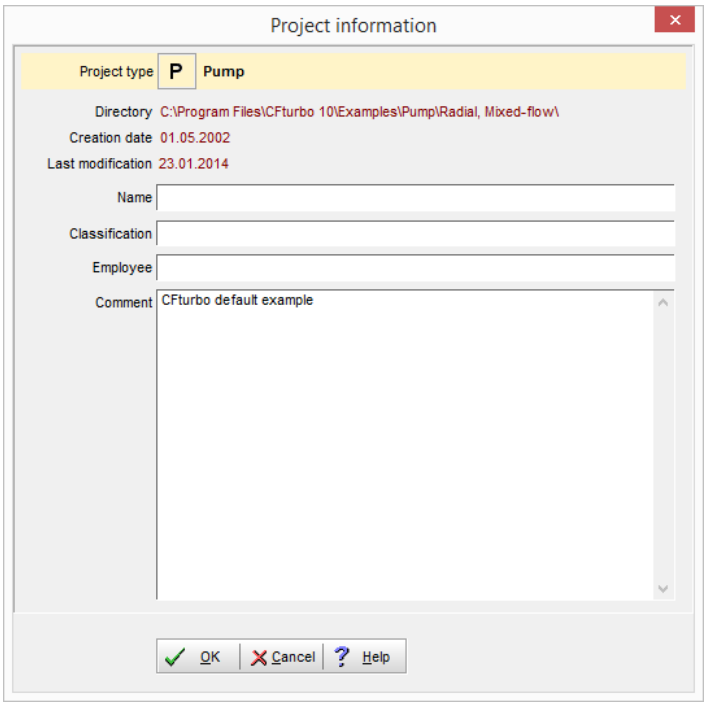
? Project | Project | Project Information

Zur Kennzeichnung des Projektes können angegeben werden:

- Bezeichnung des Entwurfs
- Klassifikation (z.B. Versionsnummer oder Unterbezeichnung)
- Bearbeiter
- Kommentar

Dies Angaben sind nicht zwingend erforderlich und dienen nur der eindeutigen Kennzeichnung bei der Verwaltung mehrerer ähnlicher Entwürfe.

Zusätzlich werden das Arbeitsverzeichnis, das Erstellungsdatum und das Datum der letzten Änderung angezeigt.



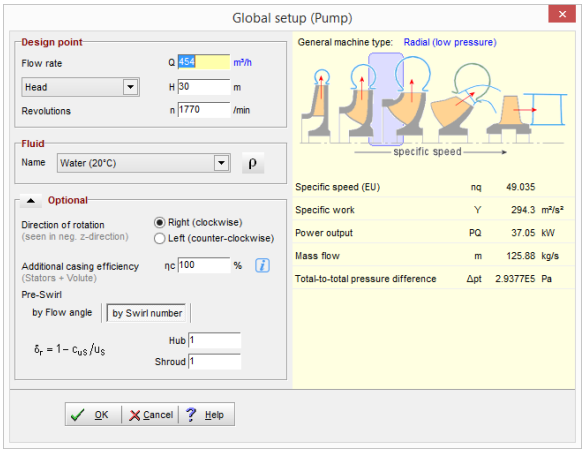
6.2.1.2 Global setup

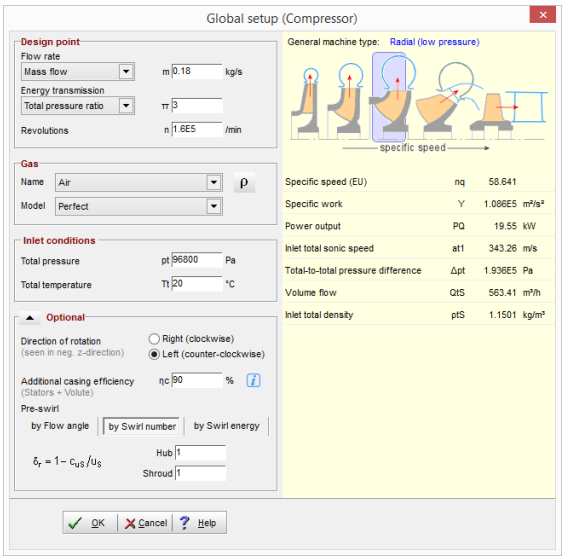
? Project | Project | Global setup

Hier werden die globalen Einstellungen des Projektes vorgenommen, die für alle Komponenten gelten.

Je nach Projekttyp sind abweichende Eingabewerte notwendig (siehe weiter unten).

Das unten stehende Bild zeigt exemplarisch den Dialog für Pumpen, das rechte für Verdichter.





Design point

Hier müssen die Auslegungsdaten für den Nennpunkt eingegeben werden:

(1) Förderstrom

- bei Pumpen, Ventilatoren: Volumenstrom Q
- bei Verdichtern: Massestrom m oder Volumenstrom Q (bezogen auf Ruhesaugzustand)
- bei Turbinen: Massestrom m

(2) Energieübertragung

- bei Pumpen: Forderhohe H oder Totaldruckdifferenz Δp_t
- bei Ventilatoren: Totalduckdifferenz Δp_t
- bei Verdichtern: Totaldruckverhaltnis π_t oder Totaldruckdifferenz Δp_t oder spezifische Förderarbeit Y
- bei Turbinen: Ruhedruckverhaltnis π_{tt} oder Leistung P_D oder Druckverhältnis (total-statisch) π_{ts}

(3) Drehzahl n

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Fluid/ Gas

In diesem Bereich werden die Eigenschaften des Fördermediums festgelegt.

Es muss ein vordefiniertes Fluid aus dem Fluid-Manager 139 ausgewählt werden. Die Liste vorhandener Fluide kann im Fluid-Manager 139 bearbeitet werden.

Für Verdichter und Turbinen muss zusätzlich eines der folgenden Gasmodelle ausgewählt werden: Perfect (Idealgas), Redlich-Kwong, Aungier/ Redlich-Kwong, Soave/ Redlich-Kwong, Peng-Robinson.

Inlet/ Boundary conditions [nur für Verdichter und Turbinen]

Hier muss der Ruhezustand am Saugstutzen durch Ruhedruck p_t und Ruhetemperatur T_t beschrieben werden.

Für Radialturbinen muss der statische Druck im Saugmund (Druck im Anschlussquerschnitt des auf die Turbine folgenden Bauteils) anstelle des Ruhedrucks am Eintritt angegeben werden.

Optional

Hier können einige optionale Parameter definiert werden, deren Standardwerte normalerweise unverändert bleiben:

- Drehrichtung des Laufrades (**Direction of rotation**), gesehen in negative Achsrichtung.
- Außerdem kann ein zusätzlicher Gehäusewirkungsgrad (**Additional casing efficiency**) definiert werden, der alle zusätzlichen Strömungsverluste in nicht rotierenden Komponenten beinhaltet und in Verbindung mit den beim Laufradentwurf definierten Wirkungsgraden Aussagen zum Gesamtwirkungsgrad ermöglicht.
- Vordrall (**Pre-Swirl**) [nur für Pumpen, Ventilatoren, Verdichter]
  Hier wird - wenn vorhanden - der Drall der Zuströmung angegeben (Hub/ Shroud). Dafür stehen folgende Möglichkeiten zur Verfügung:

	Strömungswinkel	Drallzahl	Drallenergiezahl
Gleichdrall	$\alpha_S < 90°$	$\delta_r < 1$	$\delta_Y > 0$
Gegendrall	$\alpha_S > 90°$	$\delta_r > 1$	$\delta_Y < 0$
drallfrei	$\alpha_S = 90°$	$\delta_r = 1$	$\delta_Y = 0$

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Gegendrall vergrößert die Energieübertragung, Gleichdrall verringert sie. Drallfreie Zuströmung ist in der Regel bei gerader Zuströmung durch eine einfache Rohrleitung gegeben.

Die einzelnen Größen können ineinander umgerechnet werden:

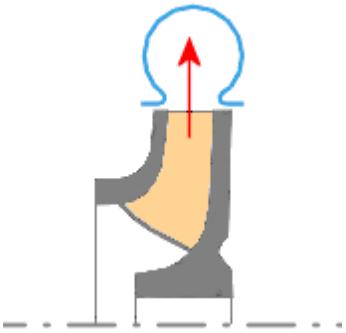
$$\delta_r = 1 - \frac{c_{mS}}{u_S \tan\alpha_S} = 1 - \frac{4Q}{\pi^2 \left(d_S^{\,2} - d_N^{\,2}\right) dn \tan\alpha_S}$$

$$\delta_r = 1 - \frac{\delta_Y Y}{u_s^{\,2}} \qquad \delta_Y = \frac{u_s^{\,2}\left(1-\delta_r\right)}{Y}$$

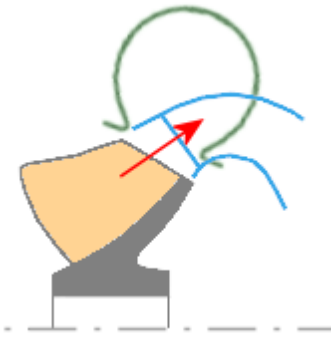
Zu beachten ist hierbei jedoch, dass ein Umrechnung δ_r - α_S nur für bestimmte Durchmesser d_H und d_S gilt.

Information

Mit Ausnahme der Radialturbinen wird die generelle Meridianform der Maschine, in Abhängigkeit von der spezifischen Drehzahl, im rechten Bereich **Information** dargestellt:

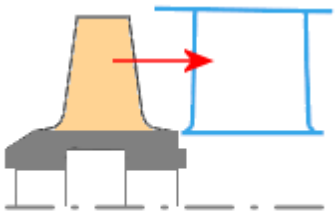


radial



halbaxial
(diagonal)

© CFturbo Software & Engineering GmbH



axial

Außerdem sind einige Berechnungsgrößen dargestellt:

spezifische Drehzahl	dient zur Kennzeichnung des Laufradtyps (Radformkennzahl) (siehe Definition der Spezifischen Drehzahl 150)
spezifische Förderarbeit Y	Pumpen, Ventilatoren: $Y = gH = \Delta p_t/\rho$ Verdichter (Idealgas-Modell): $Y = \left(\pi_t^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1 \right) c_p T_{t,S}$
Förderleistung P_Q	$P_Q = \dot{m} Y$ Pumpen, Ventilatoren: $P_Q = \rho g H Q$
Massestrom m	Pumpen, Ventilatoren: $\dot{m} = \rho Q$ Verdichter: $\dot{m} = Q_{tS} \cdot \rho_{tS}(p_{tS}, T_{tS})$ (Dichte entsprechend Gas-Modell)
Totaldruck-Differenz Δp_t	Pumpen, Ventilatoren: $\Delta p_t = \rho g H$ Verdichter:

Verdichter:

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Totaldruckverhältnis	$\pi_t = p_{t,2}/p_{t,S}$
Eintritts-Schallgeschwindigkeit	$a_{t,1} = \sqrt{\kappa R Z T_{t,S}}$
Eintritts-Volumenstrom	$Q_{tS} = \frac{\dot{m}}{\rho_{tS}(p_{tS}, T_{tS})}$ (Dichte entsprechend Gas-Modell)
Eintrittsdichte	$\rho_{tS} = \rho_{tS}(p_{tS}, T_{tS})$ (Dichte entsprechend Gas-Modell)
Austrittsdichte	$\rho_{t2} = \rho_{t2}(p_{t2}, T_{t2})$ (Dichte entsprechend Gas-Modell)
Austrittstemperatur	$T_{t2} = T_{tS}\left(1 + \frac{Y}{c_p T_{tS}}\right)$ (Idealgas-Modell)

Turbine:

Ruheschallgeschwindigkeit am Eintritt a_{t1}	$a_{t1} = \sqrt{\kappa \cdot R_{Gas} \cdot Z \cdot T_{t1}}$ (Idealgas-Modell)

Allgemeine Bemerkungen

- In der Regel werden einstufige, einflutige Maschinen angestrebt – also ein nq-Bereich zwischen 10 und 400.
- Nur in Ausnahmefällen ist es erforderlich, Laufräder für extrem kleine spezifische Drehzahlen (nq < 10) zu entwerfen. Hier entstehen sehr große und schmale Laufräder, bei denen ein ungünstiges Verhältnis von Strömungsquerschnitt zu benetzter Oberfläche und damit sehr große Reibungsverluste auftreten. In diesem Fall sollte man entweder die Drehzahl n oder den Förderstrom Q erhöhen bzw. die Förderhöhe H durch Reihenschaltung mehrerer Laufräder verringern.
- Treten im anderen Fall zu große spezifische Drehzahlen (nq > 400) auf, so kann man die Drehzahl n oder den Förderstrom Q durch Parallelschaltung mehrerer Laufräder verringern.
- **Hinweis**: die Anwendung von CFturbo® ist derzeit für einen Bereich von etwa 10 < nq < 400 vorgesehen – radiale, halbaxiale und axiale Laufräder.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Mögliche Warnungen

Problem	Lösungsmöglichkeiten
Energy transmission of all impellers deviates from globally defined value.	
Die Summe der Energieübertragung, die für jedes Laufrad definiert wurde, weicht vom global definierten Wert im Global setup ab.	Die Energieübertragung jedes Laufrades (siehe Hauptabmessungen 181) sollte überprüft und angepasst werden, um insgesamt den global definierten Wert des Global setup zu erreichen.

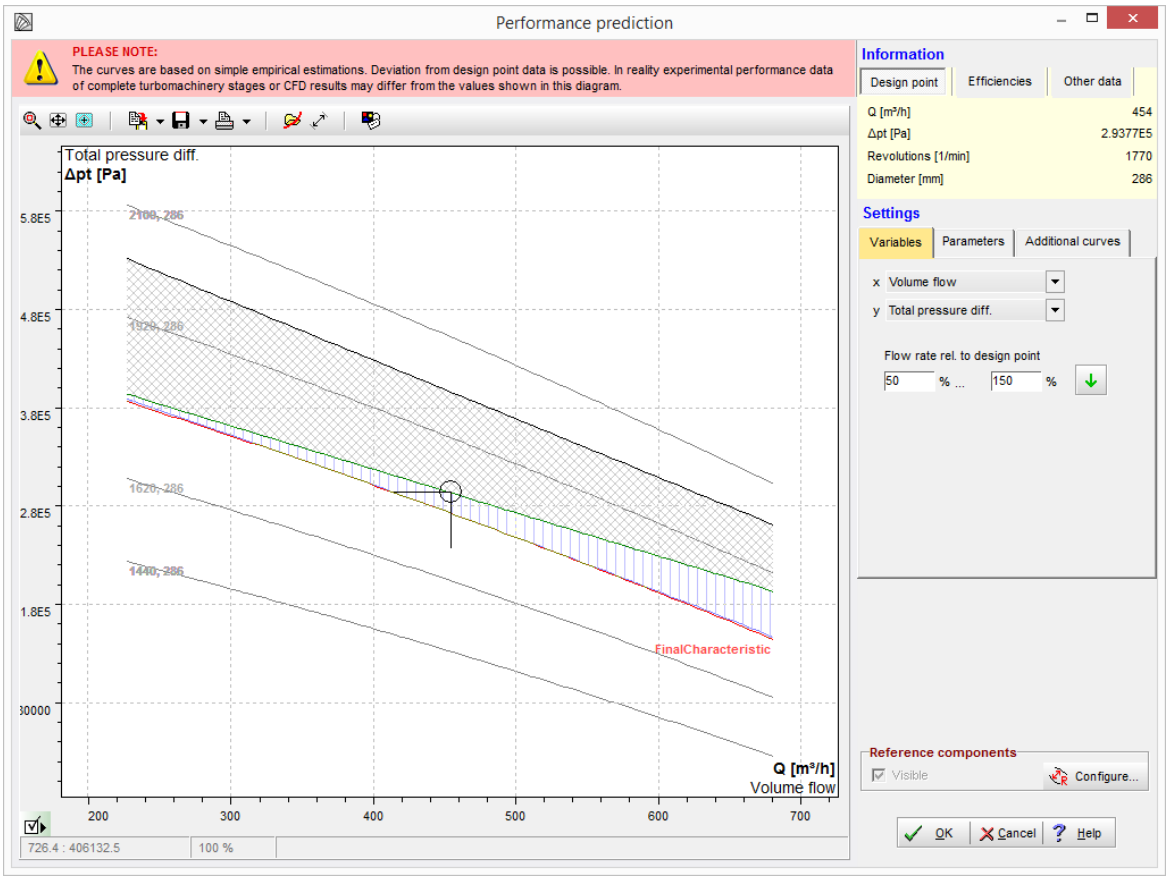
6.2.1.3 Performance prediction

? Project | Project | Performance prediction

Die **Performance prediction** beinhaltet eine empirisch gestützte Vorhersage des zu erwartenden Kennfeldes der Maschine. Gegenwärtig ist sie nicht für Axialturbinen verfügbar.

Bitte beachten: Dies ist nur eine Abschätzung. Die tatsächliche Kennlinie kann von der Vorhersage mehr oder weniger abweichen.

© CFturbo Software & Engineering GmbH



Generelles

Eine Kennlinie des aktuellen Entwurfes wird ausgehend von der Euler-Gleichung abgeschätzt:

$$H_{th} = \frac{1}{g}\left(u_2 \cdot c_{u2} - u_1 \cdot c_{u1}\right) \qquad \text{bzw.} \qquad Y_{th} = \frac{\Delta p_{th}}{\rho} = u_2 \cdot c_{u2} - u_1 \cdot c_{u1}$$

Verlustarten

Verschiedene Verlustarten werden in verschiedenen Kurven berücksichtigt:

Art	Beschreibung	Parameter
Minderleistun	Basiert auf Euler-Gleichung und der in Schaufel-	cl:

g	Eigenschaften 287 berechneten Minderumlenkung. Im Auslegungspunkt ist die Minderleistungskurve genau um den Förderhöhenverlust verschoben ($H_{Decr}=H_{th}-\Delta H_{Decr}$). Die Minderleistungskurve kann sowohl parallel zur Euler-Gerade verlaufen als auch derart, dass sie bei Δp = 0 die Euler-Gerade schneidet.	cl = 1...parallele Lage, cl = 0...Schnittpunkt mit Euler-Gerade bei Δp = 0.	
Hydraulische Verluste	Basiert auf Euler-Gerade einschließlich Verlust durch Minderleistung abzüglich der Verluste infolge Reibung. Ergibt eine nach unten geöffnete Parabel, die sich bei Q = 0 an die Minderleistungskurve anschmiegt.	ζ: Allgemeiner Ansatz: $\Delta H_{Hydr} = \zeta \cdot$	F: Faktor, der den Geometrieeinfluss der Komponente berücksichtigt (Eintritts- und Austrittsquerschnitt). $F = \frac{100}{g \cdot 0.5 \cdot (A_{in} + A$
Stoßverluste	Berücksichtigung alle oben aufgezählten Effekte plus Wirbel-und Ablösungsverluste am Ein- und Austritt. Ergibt eine nach unten geöffnete Parabel, die sich im Punkt der hydraulisch stoßfreien Anströmung der Vorerkante (Q_{opt}) an die Kurve anschmiegt, in der Minderleistung sowie hydraulische Verluste berücksichtigt sind.	ct: Allgemeiner Ansatz: $\Delta H_{Turb} = ct$	

Die Darstellung der resultierenden Kurven (durchgezogen) kann durch die Checkbox "All performance curves" unterbunden werden (display options, linke untere Ecke). Wenn die Darstellung unterbunden wurde, ist nur noch die eigentliche Kennlinie (Farbe: rot) unter Berücksichtigung aller Verluste sichtbar.

Ein Verlustkoeffizient, der die hydraulischen Verluste beschreibt, kann durch Betätigen von "Calculate ζ" so berechnet werden, dass im Ergebnis die eigentliche Kennlinie (rot) fur den Laufrad-Wirkungsgrad durch den Auslegungspunkt geht.

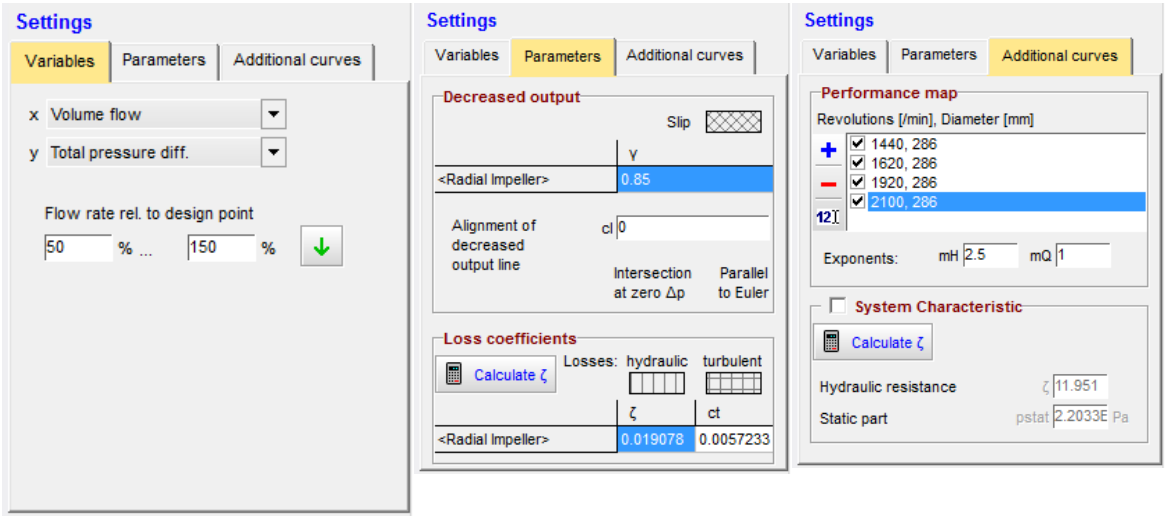
Einstellungen

Wahl der Energie- und Durchflussvariablen inklusive Setzen von Bereichsgrenzen (Zurücksetzen auf Standardbereichsgrenze mit)

Koeffizienten, die die Minderleistung (cl) sowie die hydraulischen und die Stoßverluste (ζ ct) beschreiben

Weitere Kennlinien für verschiedene Drehzahlen und Anlagenkennlinie

© CFturbo Software & Engineering GmbH



Variablen

Für alle Maschinentypen gilt: Die Kennlinien können sowohl dimensionsbehaftet als auch dimensionslos in einem Diagramm dargestellt werden.

Variable	Pumpe	Ventilator	Verdichter	Turbine
H	Förderhöhe	-	-	-
Δp	Ruhedruckdifferenz			
ψ	Druckzahl		Energiedifferenzzahl	
	$\psi = \frac{2 \cdot g \cdot H}{u_2^2}$		$\psi = \frac{2 \cdot Y}{u_2^2}$	$\psi = \frac{2 \cdot Y}{u_1^2}$
H/H_{opt}	bezogene Förderhöhe	-	-	-
$\Delta p/\Delta p_{opt}$	bezogene Ruhedruckdifferenz			

© CFturbo Software & Engineering GmbH

p_{tt}	-	-	Druckverhältnis (total-total)	
p_{ts}	-	-	Druckverhältnis (total-statisch)	
η_{St}	Stufen-Wirkungsgrad			
η_{St*}	Stufen-Wirkungsgrad inkl. Motor			-
η_V	volumetrischer Wirkungsgrad			-
P	erforderliche Antriebsleistung			-
	$P = \frac{\rho \cdot g \cdot H_{Decr}}{\eta_{mech}\eta_{mot}\eta_{sf}} \cdot (Q + Q_{le}$		$P = \frac{Y_{Decr} \cdot \rho}{\eta_{mech}\eta_{mot}} \cdot (Q + Q_{leak})$	
Q	Förderstrom			
φ	Durchflusszahl			
	$\varphi = \frac{c_{m2}}{u_2}$			$\varphi = \frac{c_{m1}}{u_1}$
Q/Q_{opt}	bezogener Förderstrom			
Q_t	-	-	Ruheförderstrom	
			$Q_t = \frac{\dot{m}}{\rho_{t1}}$	$Q_t = \frac{\dot{m}}{\rho_{t2}}$
$\dot{m}$	-	-	Massestrom	
	-	-	reduzierter Massestrom	

© CFturbo Software & Engineering GmbH

$\dot{m}_{corr}$	-	-	korrigierter Massestrom $\dot{m}_{corr} = \dot{m} \frac{\sqrt{T_{01} / T_{Ref}}}{p_{01} / p_{Ref}}$

Alle Kombinationen von Strom- und Druckvariablen sind möglich. Entsprechend dem üblichen Vorgehen wird im Fall der Turbine im Gegensatz zu allen anderen Maschinentypen die Stromvariable als Funktion der Druckvariable aufgetragen. Zudem werden Kennlinien verschiedener Drehzahlen nicht über den gesamten theoretischen Druckbereich aufgetragen sondern nur abschnittsweise.

Die Auswahl der Variablen erfolgt in der Gruppe "Variables".

Pumpgrenze [nur Gebläse und Verdichter]

Der Abschätzung der Pumpgrenze liegt folgendes Modell zugrunde: Die Druckdifferenz zwischen Aus- und Eintritt führt zu einem Rückfluss innerhalb des Verdichters. Zwischen Druckdifferenz und Rückfluss besteht der in der Tabelle "Verlustarten", Spalte "Hydraulische Verluste" stehende Zusammenhang. Wenn der Verdichter als eine Parallelschaltung einer Stromquelle und eines hydraulischen Widerstandes betrachtet wird, so tritt die Pumpgrenze auf, wenn der Rückfluss im hydraulischen Widerstand genau so groß ist wie der Fluss in der Stromquelle.

Der Verlauf der Pumpgrenze kann mit Hilfe des Verlustbeiwertes "Equivalent surge hydraulic resistance" beeinflusst werden. Natürlich können mit dem Modell instationäre Effekte, die charakteristisch für die Pumpgrenze sind, nicht beschrieben werden. Die Pumpgrenze kann nur dann dargestellt werden, wenn dimensionsbehaftete Variablen ausgewählt wurden und wenn die Checkbox "Surge line" gesetzt ist (display options, linke untere Ecke).

Das Pumpen bei Gebläsen kann nur auftreten, wenn die Druckdifferenz groß genug ist (~0.3 bar).

Stopfgrenze [nur Verdichter]

Verstopfen tritt ein, wenn in einem durchströmten Querschnitt Schallgeschwindigkeit erreicht wird. Aus der Bedingung der Konstanz der Rothalpie an jedem Ort im Strömungskanal lässt sich die Temperatur (kritische Temperatur) bei Schalldurchgang im engsten Querschnitt berechnen. Daraus lässt sich eine bei Schalldurchgang herrschende kritische Temperatur berechnen:

und daraus die kritische Schallgeschwindigkeit:

Mit der Kenntnis der kritischen Dichte und der Annahme, dass die Versperrwirkung der Grenzschicht

© CFturbo Software & Engineering GmbH

durch eine Faktor B hinreichend genau beschrieben wird, ergibt sich der Verstopfungsmassestrom zu:

$$\dot{m}_{ch} = A \cdot a_c \cdot \rho_c \cdot (1 - B)$$

Der Standardwert von B ist 0.02. Die theoretische Stopfkurve line kann nur dann angezeigt werden, wenn die Checkbox "Consider choke" gesetzt ist (display options lower corner in the left).

Kennlinien verschiedener Drehzahlen

Mit dem aktuellen Satz von Parametern können Kennlinien verschiedener Drehzahlen berechnet und angezeigt werden. Dieses Vorgehen ist nur für den Fall zulässig, wenn die Drehzahlen nicht zu weit von der Auslegungsdrehzahl entfernt sind. Anderenfalls sind die Ähnlichkeitsbeziehungen nicht mehr gültig.

Kennlinien verschiedener Durchmesser [nur Pumpen und Ventilatoren]

Kennfelder für Laufräder mit abgedrehten Durchmesser können ebenfalls berechnet und angezeigt werden. Da das Abdrehen von Laufrädern dazu führt, dass die geometrische Ähnlichkeit nicht mehr gegeben ist, werden die Kennlinien durch folgende empirische Beziehungen berechnet: $H' = H (d'/d)^{mH}$ und $Q' = Q (d'/d)^{mQ}$. Der Exponent mH sollte im Bereich 2..3 liegen, mQ im Bereich von 1 oder etwas größer.

Referenzkurven

Zum Vergleich mit dem gegenwärtigen Entwurf können Kennfeldabschätzungen gespeicherter Entwürfe hinzugeladen werden (Softbutton "Configure").

Systemkennlinie [nur Pumpen, Ventilatoren, Verdichter]

Ein Betriebspunkt, in dem die Turbomaschine laufen könnte, kann mit Hilfe einer fiktiven Systemkennlinie bestimmt werden. Die Darstellung der Systemkennlinie wird durch die Checkbox "System Characteristic" gesteuert. Die Systemkennlinie setzt sich aus einem statischen und einem dynamischen Anteil zusammen. Der statische Anteil wird durch den Parameter "Geodetic Head" (nur Pumpen) bzw. "Static part" bestimmt, der dynamische durch den Parameter "System hydraulic resistance". Angezeigt wird die Kennlinie nur dann, wenn Förderhöhe oder Totaldruckdifferenz als Variable gewählt ist.

Information

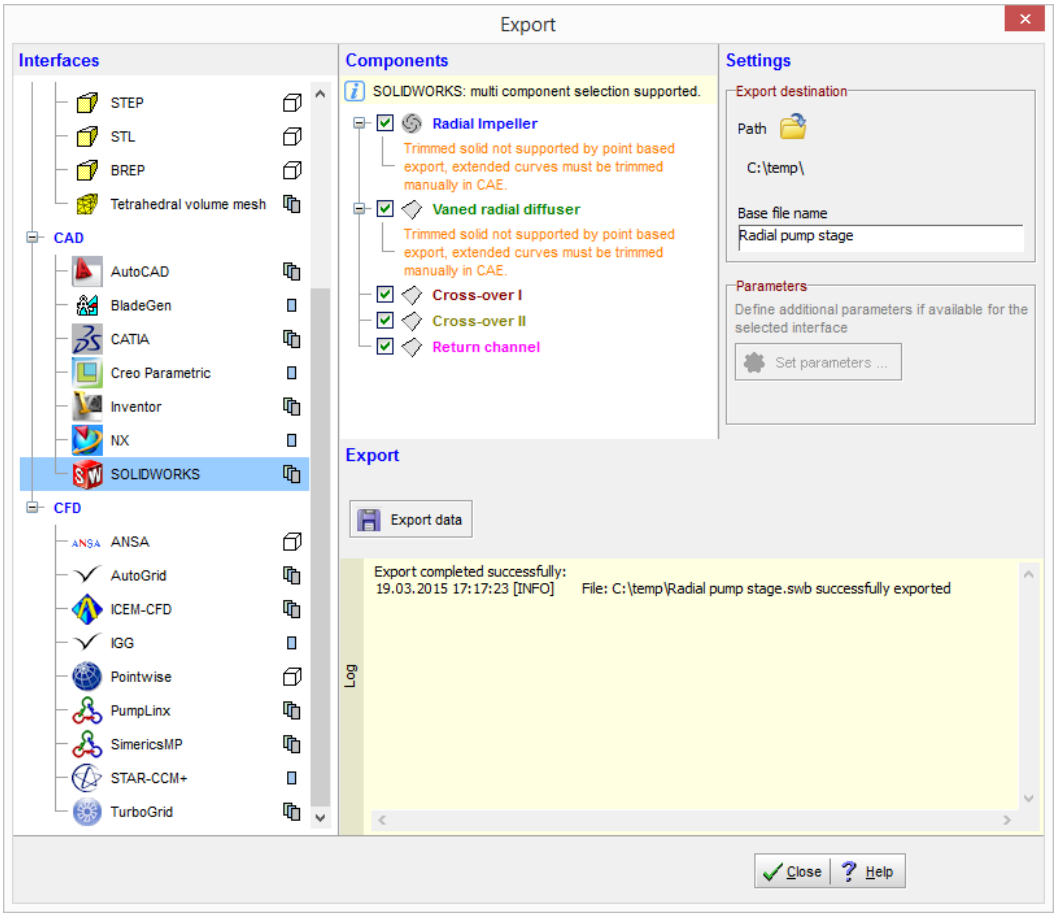
Im rechten Bereich sind einige Entwurfsgrößen zur **Information** dargestellt. Darüber hinaus ist hier auch der Massenstrom (oder ein Äquivalent) bei tangentialer (stoßfreier) Zuströmung zur Vorderkante des Laufrades angegeben.

6.2.1.4 Export

? Project | Export

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Im Export-Dialog kann die entworfene Geometrie in diverse Dateiformate exportiert werden.



Um die Geometrie zu exportieren sind folgende Schritte notwendig:

1. Schnittstelle im Bereich **Interfaces** auswählen
2. Komponente im Bereich **Components** selektieren
3. Export-Einstellungen im Bereich **Settings** festlegen

Interfaces

Die verfügbaren Schnittstellen sind in drei Gruppen eingeteilt: Basic 85, CAD 89 und CFD 91.

Generell wird zwischen drei Export-Typen unterschieden: "3D-Modell Export", "Vordefinierter 3D-Modell Export" und "Punktbasierter Export":

	3D-Modell Export	Vordefinierter 3D-Modell	Punktbasierter Export

		Export	
Format	IGES, STEP, STL, BREP, ANSA, Pointwise	ICEM-CFD, SimericsMP	Alle übrigen
Inhalt	alle sichtbaren Teile des 3D-Modells	vordefinierte Teile des 3D-Modells	vordefinierte Punkte/ Splines (unabhängig vom 3D-Modell)
Punktdichte	variabel [1)]	variabel [1)]	variabel [2)]
Einheit	[mm]	[mm]	variabel [2)]

[1)] Verwendete Punktdichte kann unter **Model settings/ 3D model** für jede Komponente (Impeller 368, Stator 391, Volute 435) festgelegt werden.

[2)] Verwendete Punktdichte und Einheiten können unter **Model settings/ Point export** für jede Komponente (Impeller 368, Stator 391, Volute 435) festgelegt werden.
Wenn der Schaufeltyp 287 "Ruled surface" ist, werden die Einstellungen in den Model settings 368 für Mean lines und Profile (Druck- und Saugseite) beim punktbasierten Export nicht berücksichtigt.

Bitte beachten: Die Ergebnisse flächenbasierter Operationen (z.B. Fillets), können nicht in punktbasierte Formate exportiert werden.

Hinweise zum 3D-Modell Export

Es wird empfohlen, nach Möglichkeit Solids bzw. Solid Faces zu exportieren, da hier die einzelnen Flächen am besten zueinander passen. Insbesondere, wenn bei der Modell-Fertigstellung 'Solid trimming' durchgeführt wurde, ist dies die einzig sinnvolle Option.

Components

Die Liste enthält alle entworfenen Komponenten des Projektes. Mehrere Komponenten können gleichzeitig selektiert werden, falls dies von der ausgewählten Schnittstelle unterstützt wird. Ansonsten ist nur der Export einzelner Komponenten möglich.

Einige Schnittstellen unterstützen nur spezifische Komponenten-Typen, wie z.B. nur Laufräder. Nicht unterstützte Komponenten werden in diesem Fall deaktiviert.

Settings

Im Bereich **Settings** können Eigenschaften der selektierten Schnittstelle konfiguriert werden, wie

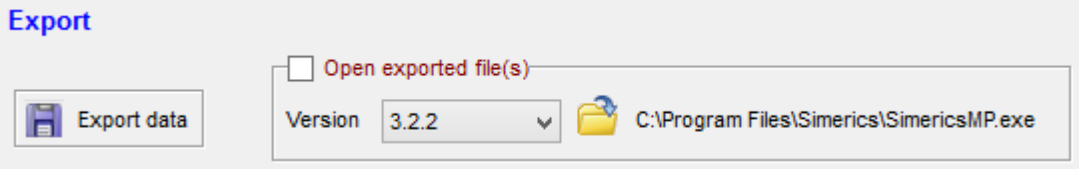
© CFturbo Software & Engineering GmbH

z.B. Name und Verzeichnis für die exportierten Dateien. Abhängig von der selektierten Applikation stehen zusätzliche Parameter zur Verfügung.

Export

Durch Betätigen des Schalters **Export data** wird der Export-Vorgang gestartet. Logging-Informationen werden im Bereich unterhalb angezeigt.

Für einige CAD- und CFD-Applikationen kann die exportierte Geometrie automatisch in der Zielanwendung geöffnet werden. Die Produktversion muss aus einer Liste ausgewählt oder das Installations-Verzeichnis manuell ausgewählt werden.



Mögliche Warnungen

	Problem	Mögliche Lösung
CFD Setup	**CFD setup has to be completed**	
	CFD setup nicht durchgeführt	CFD setup 359 ausführen
	Segment required (see CFD Setup)	
	CFD setup nicht durchgeführt	CFD setup 359 ausführen (Segment wird dabei generiert)
	Blade tip projection to casing required (see CFD Setup)	
	Schaufeloberkantenprojektion nicht durchgeführt	"Blade projection" in CFD setup/ Miscellaneous 362 aktivieren
	Meridional CFD extension behind trailing edge recommended / required (see CFD Setup)	
	CFD extension existiert nicht	"Activate" in CFD setup/Extension 360 aktivieren
	Meridional CFD extension before leading edge recommended / required (see CFD Setup)	
	CFD extension existiert nicht	"Activate" in CFD setup/Extension 360

© CFturbo Software & Engineering GmbH

	Problem	Mögliche Lösung
		aktivieren
	Meridional CFD extension (see CFD Setup) or unvaned stator on inlet / outlet side required	
	Nur für TurboGrid: Zum Vernetzen ist Platz um die Schaufelkanten herum erforderlich. Dieser kann durch Erzeugen einer CFD extension oder durch Auswahl der benachbarten unbeschaufelten Stator-Komponente generiert werden	"Activate" in CFD setup/Extension 360 aktivieren
	Too small region between blade leading/ trailing edge and meridional inlet/ outlet could cause import problems in TurboGrid	
	Nur für **offene** Laufräder und Statoren: Ein kleiner Abstand zwischen Ein-/ Austrittskante und meridionalem Eintritt/ Austritt könnte zur folgende Fehlermeldung beim Importieren in TurboGrid führen: "*Error extending the shroud tip line. Try reducing the "Tip expansion factor" value.*"	Abstand zwischen Ein-/ Austrittskante und meridionalem Eintritt/ Austritt erhöhen durch: a) Erhöhung der Extension-Länge in CFD setup/ Extension 360 oder b) Verschieben der Ein-/ Austrittskante in der Meridiankontur, wenn Ein-/ Austrittskante nicht am Eintritt/ Austritt fixiert 264 ist
Finishing	**Model finishing is currently NOT up-to-date**	
	Das Model finishing ist nicht aktuell.	Model finishing 370 ausführen
	No model finishing is currently selected. "Solid trimming" is recommended for surface/ solid export.	
	Eine bessere Qualität des 3D-Modells kann über "Solid trimming" erreicht werden.	Model finishing 370 mit der Option "Solid trimming" ausführen
	Trimmed solid is required (see Model finishing)	
	Verschnittene Flächen zur Solidgenerierung sind erforderlich.	Model finishing 370 mit der Option "Solid trimming" ausführen
	Fillet not available in point based export	
	Verrundungen werden nicht exportiert.	-

© CFturbo Software & Engineering GmbH

	Problem	Mögliche Lösung
	Trimmed solid not supported by point based export, extended curves must be trimmed manually in CAE	
	Solids, die durch Verschneiden von Flächen erzeugt werden, werden nicht exportiert.	Das Verschneiden muss manuell in einem CAD-Programm erfolgen.
	Fillet-Cut-water is not supported in point based export. Cutwater has to be designed manually in CAE	
	Zungen mit Fillets werden nicht unterstützt.	Die Zungengeometrie muss manuell in einem CAD-Programm gestaltet werden.
Blades	**Blades need to be completed (see Blade edges)**	
	Entwurfsschritt "Blade edges" nicht durchgeführt	Blade edges 336 ausführen
	Blades are required (see Main dimensions)	
	Komponenten ohne Schaufeln werden von diesem Interface nicht unterstützt.	-
	Designs with only one blade not supported in TurboGrid	
	Beschaufelte Komponenten mit nur eine Schaufel können in TurboGrid nicht importiert werden.	-
	RTZT format does not support blades with asymmetric thickness distribution	
	Schaufeln mit asymmetrischen Dickenverteilung werden in BladeGen importiert, so dass eine Dickenverteilung symmetrisch bezüglich der Mean line ensteht.	-
Allgemein	**All design steps have to be completed before export**	
	Nur für CFD-Applikationen. Eine oder mehrere Design-Schritte wurden nicht durchgeführt	Alle Design-Schritte durchführen
	Interface does not support tip clearance	
	Nur für BladeGen (ANSYS). Spalt	-

© CFturbo Software & Engineering GmbH

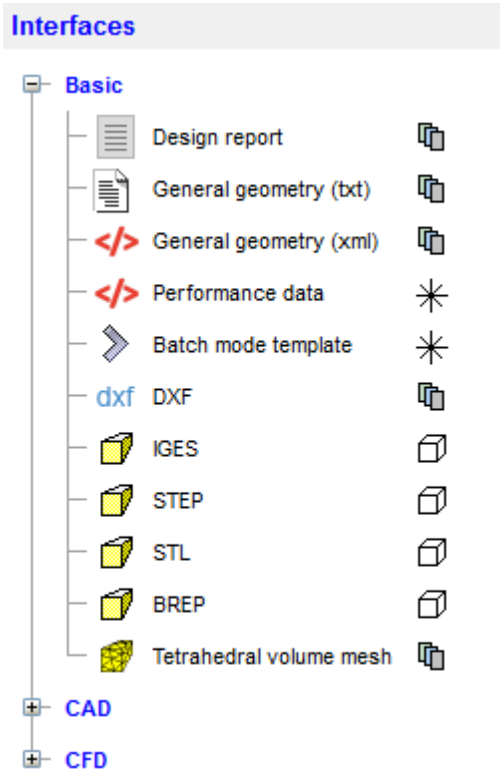
	Problem	Mögliche Lösung
	zwischen Gehäuse und Schaufeloberkante wird nicht exportiert.	
	Special license for this interface required	
	Keine Lizenz für dieses Interface gefunden.	Überprüfen der Lizenzinformationen in Preferences/Licensing 135
	No license available, component cannot be exported	
	Das entsprechende CFturbo-Modul ist nicht lizenziert oder CFturbo wurde mit einer Testlizenz gestartet.	Nur Designs, die mit lizenzierten Modulen generiert wurden, oder nicht modifizierte Standardbeispiele bei Nutzung einer Testlizenz können exportiert werden.
	Parts of an inactive component are visible in the 3D Model. They will not be exported	
	Inaktive aber sichtbare Komponententeile werden nicht exportiert.	-
	Maximum allowed coordinate values for export exceeded, please choose another export unit (see Model settings)	
	Der maximal erlaubte Wert für den Export wurde überschritten.	Änderung der Längeneinheit in Model settings/Point export 368
	Parts to be exported have to be visible in the 3D Model. Imports can only be exported via the context menu of the 3D Model tree	
	Im 3D-Modell unsichtbare Teile werden nicht exportiert. Importierte Geometrien können nur über das Kontextmenü des 3D-Modells exportiert werden.	Alle Teile, die exportiert werden sollen, im Komponentenbaum 170 sichtbar machen
	Performance prediction not supported for axial turbine projects	
	Performance prediction wird nicht für axialen Turbinen unterstützt.	-

6.2.1.4.1 Basic

? Project | Export | Basic

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Unter Basic sind die Basis-Export-Schnittstellen zusammengefaßt. Sie sind unabhängig vom Komponententyp verfügbar.



Export Verfügbarkeit

Die Basic-Schnittstellen sind immer verfügbar. Die Formate IGES, STEP, STL und BREP exportieren die im 3D-Modell sichtbare Geometrie.

[**L** = **L**aufrad **S** = **S**tator **V** = **V**olute **MK** = **M**ulti-**K**omponenten-Export verfügbar]

Menupunkt	Beschreibung		Komponenten-Typ			
Design report	*.html, *.rtf, *.csv, *.txt	Entwurfs-Report	L	S	V	MK
	Textdatei mit Entwurfs-Informationen; Zusammenstellung der wichtigsten Auslegungsparametern. siehe Report 178					
General	*.cft-geo	allgemeine Textdatei	L	S	V	MK

© CFturbo Software & Engineering GmbH

geometry (txt)	Textdatei mit den Geometriedaten des Entwurfs; dient zur beliebigen Verarbeitung der Geometriedaten **Laufrad/Stator:** Meridianschnitt: z, r für Trag-, Deckscheibe, Eintrittskante Schaufelskelettlinien: x, y, z: kartesische Koordinaten r: Radius t: Winkel T: tangentiale Länge m: meridionale radiusbezogene Länge m/mTE: meridionale radiusbezogene Länge (0..1) M: meridionale absolute Länge M/MTE: meridionale absolute Länge (0..1) β: Schaufelwinkel s: Schaufeldicke L: 3D-Länge la: lean angle Schaufelprofile x, y, z: kartesische Koordinaten r: Radius t: Winkel **Spiralgehäuse:** Spiralenquerschnitte, Diffusorquerschnitte, Cutwater: x, y, z (kartesische Koordinaten) Konturlinien in Umfangsrichtung: x, y (kartesische Koordinaten)					
General geometry (xml)	*.cft-geo-xml	allgemeine XML-Datei	**L**	**S**	**V**	**MK**
	XML-Datei mit den Geometriedaten des Entwurfs; dient zur beliebigen Verarbeitung der Geometriedaten					
Performance data	*.cft-pp	XML formatDatei	Datei generiert für das ganzes Projekt			
	XML-Datei enthält die Ergebnisse der Kennfeld-Vorhersage 73					
Batch mode template	*.cft-batch	XML Datei	Datei generiert für das ganzes Projekt			
	XML-Datei enthält alle änderbaren Parameter und Beispiel-Actions siehe Batch mode 26					
DXF	*.dxf	Neutralformat (Drawing Interchange File Format)	**L**	**S**	**V**	**MK**
	Die Datei enthält die entworfene Geometrie der selektierten Komponente als 3D-Polylinien.					

© CFturbo Software & Engineering GmbH

<table>
<tr><td rowspan="2">IGES</td><td>*.igs</td><td>Neutralformat
(Initial Graphics Exchange Specification)</td><td rowspan="8" colspan="4">Export der im 3D-Modell sichtbaren Geometrie</td></tr>
<tr><td colspan="2">Die Datei enthält die entworfene Geometrie als 3D-Flächenmodell. Die sichtbare 3D-Darstellung bildet die Grundlage.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">STEP</td><td>*.stp</td><td>Neutralformat
(Standard for the Exchange of Product model data)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Die Datei enthält die entworfene Geometrie als 3D-Flächen-/ Solidmodell. Die sichtbare 3D-Darstellung bildet die Grundlage. Auch die im Modell-Baum angezeigten Namen werden exportiert.

Solid vs. Solid faces:
Veschiedene Zielsysteme können mit Solids oder Solid faces unterschiedlich gut umgehen. Bei Import-Problemen ist es deshalb ratsam, auch die andere Variante zu versuchen.

<u>Spezifika:</u>

Bei STAR-CCM+ ist es besser Solids statt Solid faces zu exportieren.

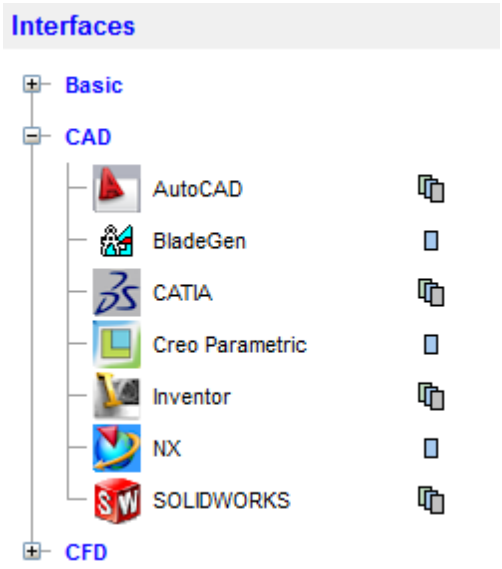
Bei SOLIDWORKS sollte der Import mit und ohne die STEP Import Option "BREP-Abbildung" versucht werden.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">STL</td><td>*.stl</td><td>Neutralformat
(Standard Triangulation Language)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Die Datei enthält die entworfene Geometrie als triangulierte 3D-Flächen. Einige Parameter sind verfügbar. Die sichtbare 3D-Darstellung bildet die Grundlage.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">BREP</td><td>*.brep</td><td>Natives Format Open CASCADE-basierter Anwendungen
(Boundary Representation)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Die Datei enthält die entworfene Geometrie als 3D-Flächen. Die sichtbare 3D-Darstellung bildet die Grundlage.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Tetrahedral volume mesh</td><td>*.msh, *.vol, polyMesh</td><td>3 alternative Dateiformate sind verfügbar:
Fluent, Netgen, OpenFOAM</td><td>L</td><td>S</td><td>V</td><td>MK</td></tr>
<tr><td colspan="2">Die Datei enthält die entworfene Geometrie als Tetra-Volumennetz für Simulationen. Dateiformat und Netzfeinheit können über Set parameters festgelegt werden.</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
</table>

© CFturbo Software & Engineering GmbH

6.2.1.4.2 CAD

? Project | Export | CAD

Die CAD Gruppe fasst die unterstützten Schnittstellen zu CAD-Systemen zusammen.



Export Verfügbarkeit

Die Verfügbarkeit der CAD-Schnittstellen ist abhängig von Komponenten-Typ und Entwurfsfortschritt.

Komponenten-Typ	Export verfügbar ab Entwurfsschritt:
Laufräder und beschaufelte Statoren	"Mean lines"
Unbeschaufelte Statoren	"Meridional contour"
Volute	"Spiral development areas"

Die Schnittstellen AutoCAD, CATIA, Inventor und SOLIDWORKS unterstützen mehrere Komponenten Export.

[**L** = **L**aufrad **S** = **S**tator **V** = **V**olute **MK** = **M**ulti-**K**omponenten-Export verfügbar]

Menupunkt	Beschreibung		Komponenten-Typ			
BladeGen	*.rtzt	Version 14.5	**L**	**S**	**V**	**MK**

© CFturbo Software & Engineering GmbH

	Die Datei enthält die komplette 3D- Laufradgeometrie in punktweiser Beschreibung • File | Open: Dateityp „Meanline File (*.rtzt)“ einstellen • *.rtzt auswählen					
AutoCAD	*-.txt	Version 2014	**L**	**S**	**V**	**MK**
	Das zum Lieferumfang von CFturbo gehörende Lisp-Script xyz2spline erzeugt Splines aus den eingelesenen Punktfolgen. • "AutoCAD Classic" Workspace auswählen • Tools | Load application: "xyz2spline.lsp" Datei von CFturbo Installationsverzeichnis auswählen • Kommandozeilenbefehl "xyz2spline", *.txt Datei auswählen					
CATIA	*.catvbs	Version V5R19	**L**	**S**	**V**	**MK**
	Das Makro generiert ein Flächenmodell inkl. der erzeugenden Splines. • Tools | Makro | Makros • Makrobibliothek und Makro auswählen, Ausführen					
Inventor	*.bas	Version 2014	**L**	**S**	**V**	**MK**
	Das Makro generiert ein Flächenmodell inkl. der erzeugenden Splines. • Extras | Makro | Visual Basic Editor • VB o Datei | Neues Projekt o Datei | Datei importieren, *.bas auswählen o Extras | Makros, „Main“ auswählen, Ausführen					
Creo Parametric	*.ibl, *.pts	Version 2.0 M090	**L**	**S**	**V**	**MK**
	*.ibl enthält die Geometrie als 3D-Punktfolge. *.pts Dateien werden nur für Laufrädern exportiert und enthalten Schaufeldicken-Informationen als 2D-Punktfolge • Home | New | Part <Name> (wenn keine Datei geöffnet ist) • Model | Get data | Import • *.ibl oder *.pts auswählen					
SOLIDWORKS	*.swb	Version 2014	**L**	**S**	**V**	**MK**
	Das Makro generiert ein Flächenmodell inkl. der erzeugenden Splines. • Extras | Makro | Ausführen (Tools | Macro | Run): *.swb-Datei auswählen					
NX	*-ug.dat	Version 8.0	**L**	**S**	**V**	**MK**

© CFturbo Software & Engineering GmbH

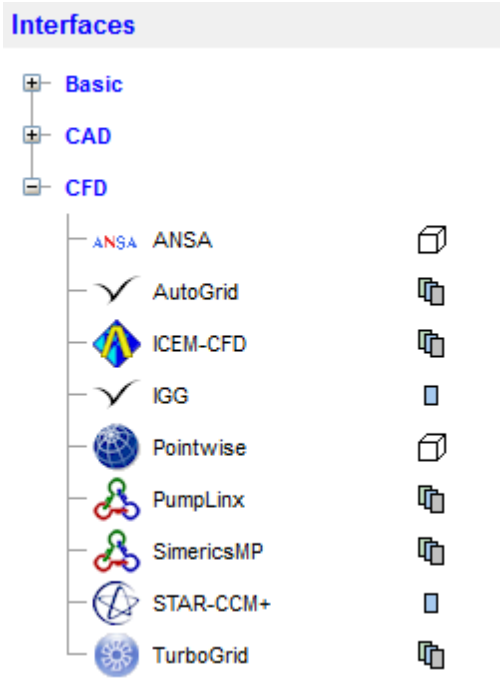
	Je Komponente wird eine Datei erzeugt. • File | New | <name> (wenn keine Datei geöffnet ist) • Start | Modeling Für Kurven (Trag-, Deckscheibe, Spiralenkontur-Linien): • Insert | Curve | Spline | Through points • Points from file • *.dat auswählen Für Flächen (Schaufel, Spirale, Diffusor): • Insert | surface | Through points • Row degree <= Anzahl der Schaufelprofilschnitte; Column degree <= Row degree-1 • Points from file • *.dat auswählen HINWEIS: Wenn die genannten Menüpunkte nicht verfügbar sind, müssen die entsprechenden Kommandos erstellt werden: a) "Tools/Customize" oder Rechtsklick auf beliebige Toolbar/ Menü, "Customize..." b) "Commands", "Insert/Curve/Spline..." bzw. "Insert/Surface/ Through Points..." c) selektiertes Kommando per Drag and Drop in ein Menü oder eine Toolbar integrieren				

6.2.1.4.3 CFD

? Project | Export | CFD

Die CFD Gruppe fasst die unterstützten Schnittstellen zu CFD-Systemen zusammen.

© CFturbo Software & Engineering GmbH



Export Verfügbarkeit

Die Verfügbarkeit der CFD-Schnittstellen ist abhängig von Komponenten-Typ und Entwurfsfortschritt.

Komponenten-Typ	Export verfügbar ab Entwurfsschritt:
Laufräder und beschaufelte Statoren	"Blade edges"
Unbeschaufelte Statoren	"Meridional contour"
Volute	"Diffuser geometry"

Die Schnittstellen ANSA, AutoGrid, ICEM-CFD, Pointwise, PumpLinx und Simerics MP unterstützen mehrere Komponenten Export.

[**L** = **L**aufrad **S** = **S**tator **V** = **V**olute **MK** = **M**ulti-**K**omponenten-Export verfügbar]

Menu entry	Description		Komponenten-Typ			
ANSA	*.igs	Version 15.0	**L**	**S**	**V**	**MK**
	• File | Open • *.igs Datei auswählen					
AutoGrid	*.geomTurbo	Version 9.0	**L**	**S**	**V**	**MK**

© CFturbo Software & Engineering GmbH

	• File | New Project • “Initialize a New Project from a geomTurbo File” • *.geomTurbo Datei auswählen					
ICEM-CFD	*.tinXML, *.stp	Version 12, 13, 14, 14.5	**L**	**S**	**V**	**MK**
	Es wird eine STEP-Datei mit benannten Geometrien erzeugt. Die Namen sind in ICEM-CFD sichtbar, wenn man die Datei mittels Workbench Reader importiert. Zur Konfiguration dient ein separater Dialog. Die Einstellungen werden in einer separaten XML-Datei gespeichert.					
IGG	*.dst, *.dat	Version 8.10-2	**L**	**S**	**V**	**MK**
	Es wird ein model-File *.dst und 3 Datendateien erzeugt: section.dat, diffusor.dat, curves.dat • File | Import | IGG Data • *.dst Datei auswählen					
Pointwise	*.igs	V17.0R2	**L**	**S**	**V**	**MK**
	• File | Import | Database • Select *.igs file					
PumpLinx Simerics MP	*.spro, *.stl	Version 3.2.2	**L**	**S**	**V**	**MK**
	Die Datei *.spro enthält alle Project-Informationen. Die Datei *.stl enthält die entworfene Geometrie im STL-Format als triangulierte 3D-Flächen. Einige Parameter sind verfügbar. In Simerics MP/ PumpLinx: Unter Open project Datei *.spro auswählen					
STAR-CCM+	*.bndy, *.estg, *.trbw	Version 8.04.007	**L**	**S**	**V**	**MK**
	• Mesh | Import turbo blades… • Datei *.trbw unter Load Turbo Wizard Settings selektieren					
TurboGrid	*.curve	Version 14.5	**L**	**S**	**V**	**MK**
	4 Dateien werden erzeugt, eine Session Datei (<filename>.tse) und <filename>_hub.curve, <filename>_shroud.curve, <filename>_profile.curve. Die gespeicherte Session Datei (<filename>.tse) laden: • File | New Case • Session | Play Session oder Kurvendateien (<filename>_hub.curve, <filename>_shroud.curve) manuell importieren: • Launcher: Verzeichnis einstellen, ANSYS TG starten • File | New case • File | Load curves					

© CFturbo Software & Engineering GmbH

	• Schaufelzahl eingeben, z-Achse als Rotationsachse definieren, kartesisches Koordinatensystem und Längeneinheit wählen, *.curve Dateien auswählen				

ICEM-CFD (ANSYS)

Diese Schnittstelle unterstützt die skriptbasierte Lösung CFturbo2ICEM, um mit CFturbo entworfene Geometrie automatisch in ICEM-CFD zu vernetzen. Detaillierte Informationen finden Sie in der CFturbo Website.

Durch Betätigen des Schalters **Set parameters...** öffnet sich der **Export ICEM-CFD** 122 Dialog, um die Vernetzungsparameter festzulegen. Diese werden in der Datei *.tinXML gespeichert, die Geometrie wird per *.stp exportiert.

Mehr Information finden Sie in der Bedienungsanleitung von CFturbo2ICEM.

6.2.1.4.4 Details

Folgende Punkte enthalten spezifische Information über wie die in CFturbo entworfene Geometrie in verschiedenen CAE Applikationen importiert wird:

- AutoCAD (Autodesk, Inc.) 94
- Inventor (Autodesk, Inc.) 100
- CATIA (Dassault Systèmes) 103
- AutoGrid (NUMECA International) 103
- Creo Parametric (PTC, Inc.) 106
- ICEM-CFD (ANSYS) 122
- STL 124

6.2.1.4.4.1 AutoCAD (Autodesk, Inc.)

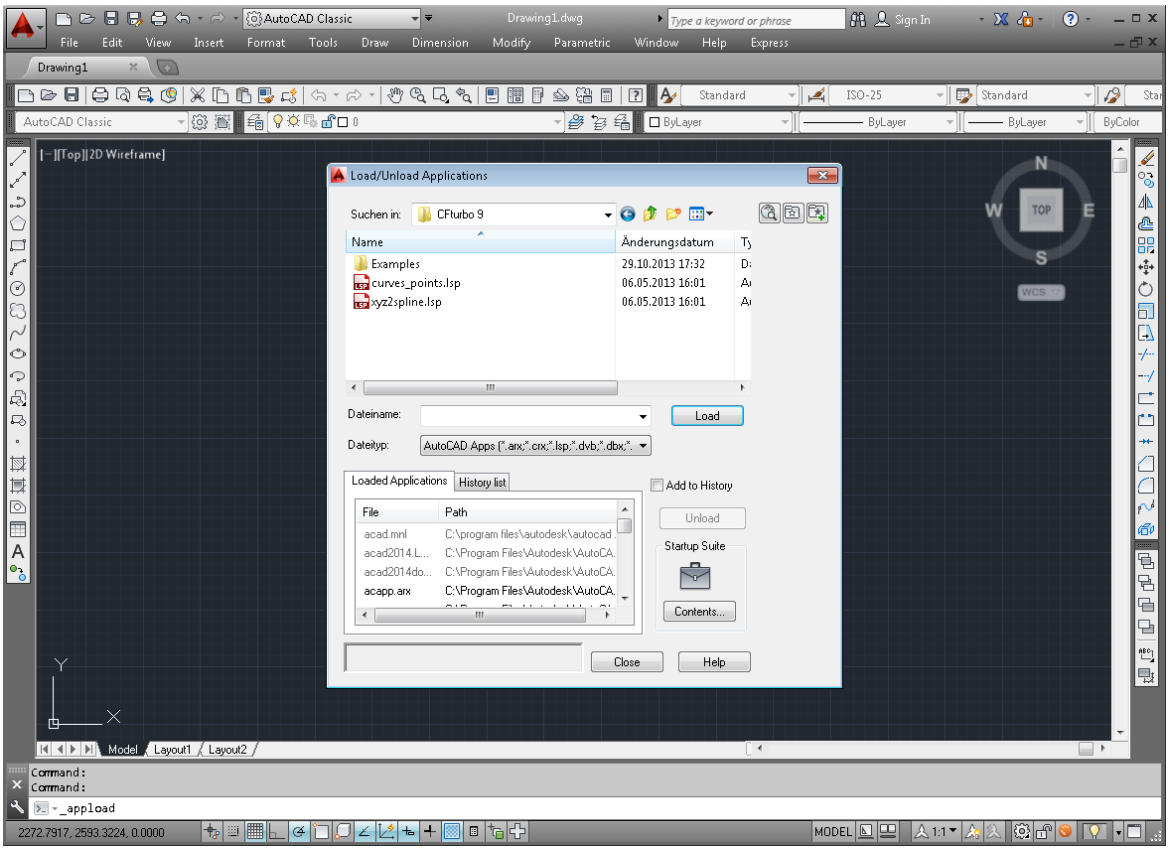
Der Import der Daten aus CFturbo erfolgt durch ein LISP-Skript.

Laden der LISP-Anwendung und Import der Geometriedaten

- "AutoCAD Classic" Workspace auswählen
- Tools | Load application: (Kommandozeilenbefehl: *_appload*)
- Datei *xyz2spline.lsp* aus CFturbo-Installationsverzeichnis auswählen, laden und Dialog schließen

© CFturbo Software & Engineering GmbH

- Geladene LISP-Anwendung durch Kommandozeilenbefehl *xyz2spline* starten
- Aus CFturbo exportierte *.txt Datei auswählen und öffnen
- Achtung: Falls "; Fehler: Fehlerhafter Argumenttyp: FILE nil" als Fehler angezeigt wird kann dies umgangen werden, indem im Datei-Öffnen-Dialog der Dateiname manuell eingetippt wird. Meist reichen die ersten Zeichen des Namens um den Rest per Autovervollständigung eintragen zu lassen.



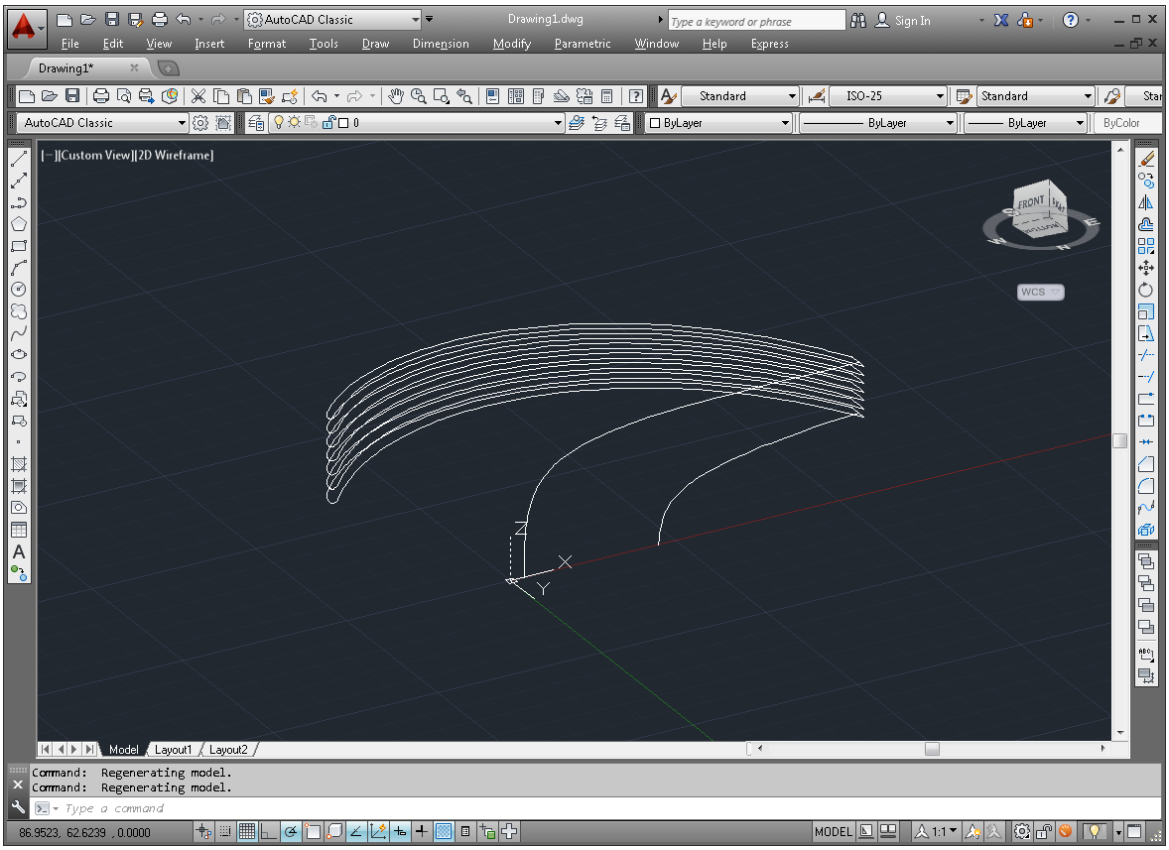
Auswahl der xyz2spline.lsp Datei

Laufrad-Konstruktion

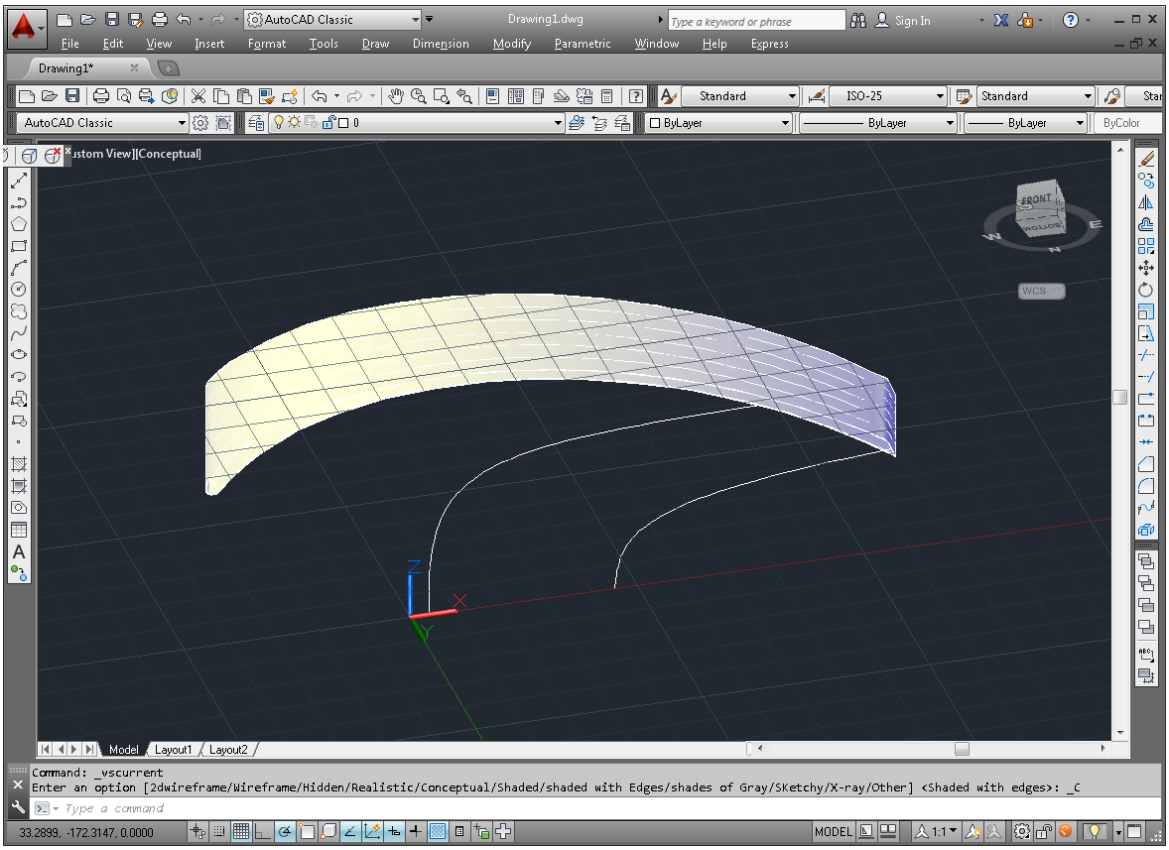
Erzeugen der Schaufeln

- Mit dem Kommandozeilebefehl *_loft* können die Flächen generiert werden

© CFturbo Software & Engineering GmbH



Ansicht nach Dateiimport (Beispiel)

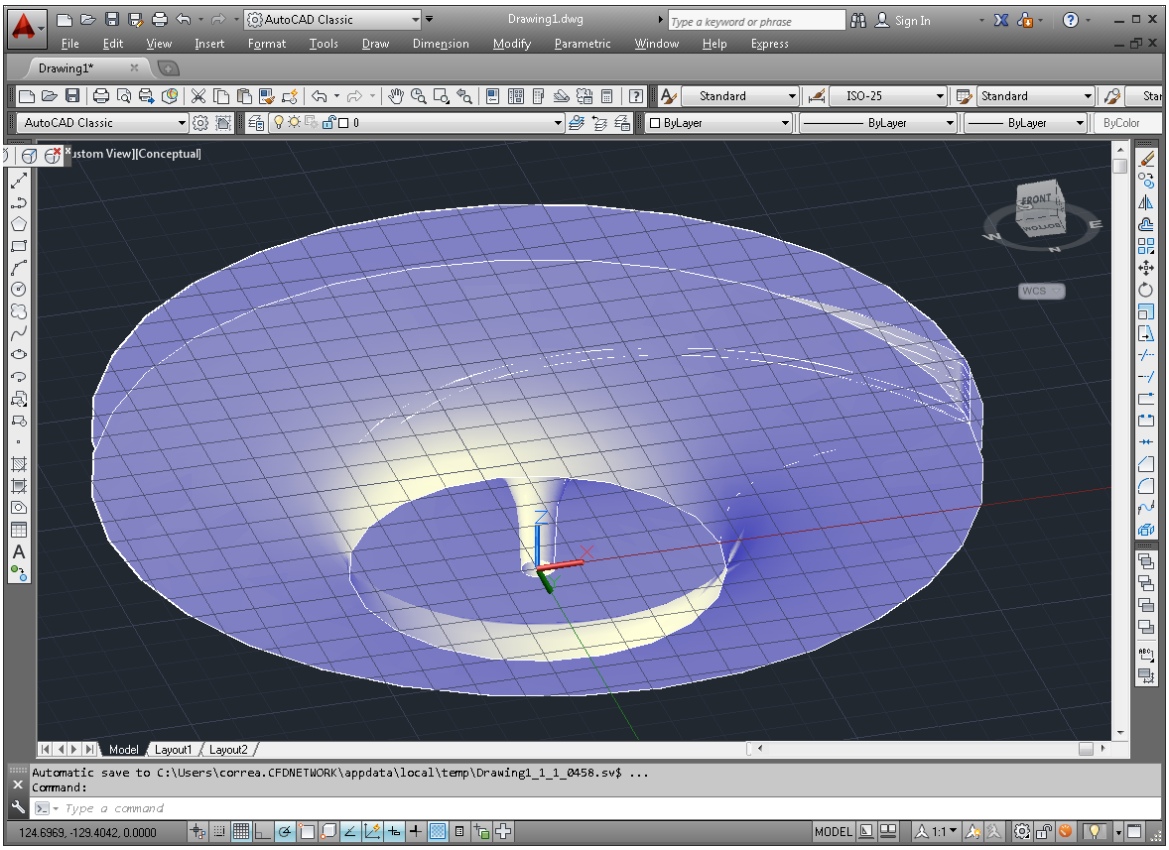


Schaufelfläche generiert mit dem Befehl _loft

Erzeugen der Rotationsflächen (Trag- und Deckscheibe)

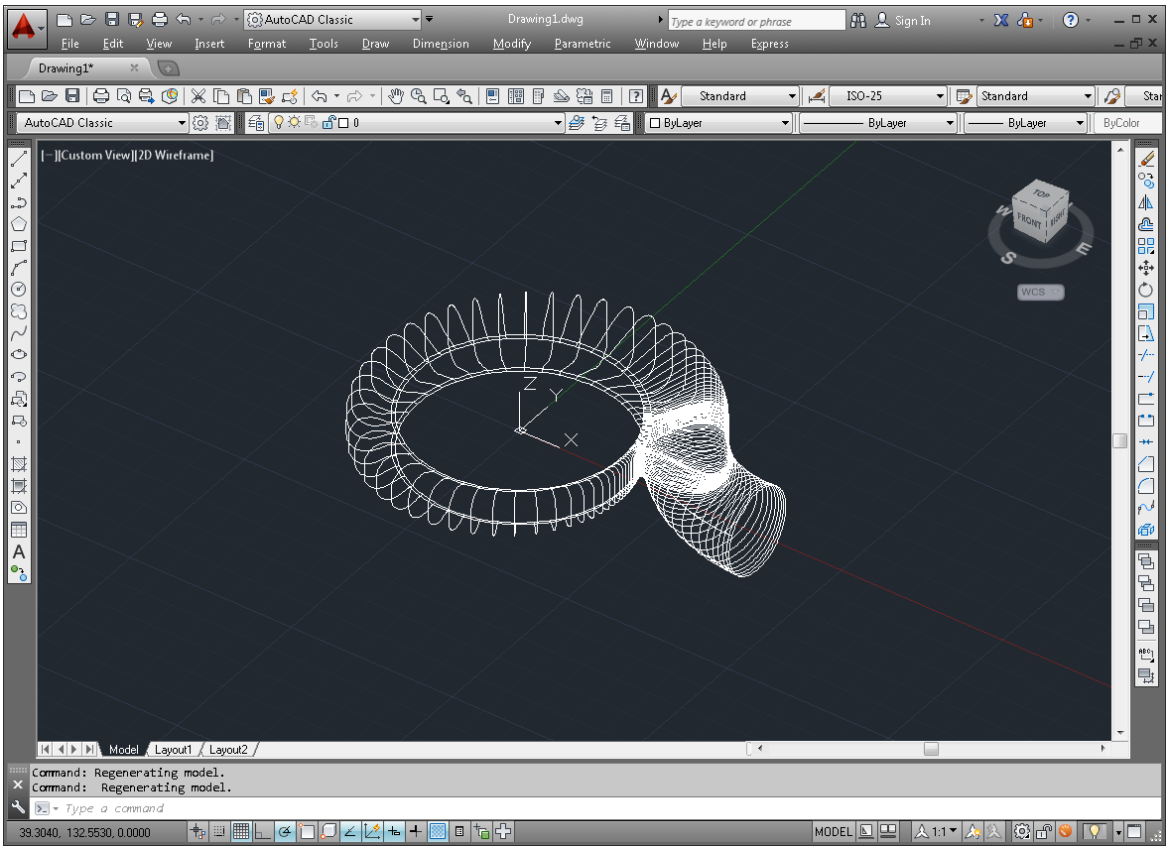
- Kommandozeilenbefehl *_revolve*
- Trag- und Deckscheibenkurve auswählen
- *Achse definieren durch [Objekt/X/Y/Z] <Objekt>:* 0,0,0
- *Endpunkt der Achse angeben:* 0,0,1
- *Rotationswinkel oder [STartwinkel] angeben <360>:* 360

© CFturbo Software & Engineering GmbH



Trag- und Deckscheibe

Spiralgehäuse-Konstruktion



Ansicht nach Dateiimport (Beispiel)

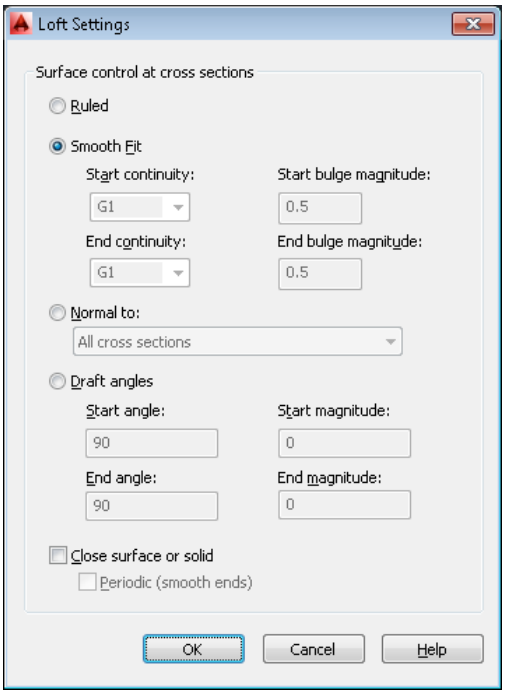
Erzeugen des offenen Teiles des Spiralgehäuses

1. Kommandozeilebefehl *_loft*

2. Profilschnitte des offenen Teiles auswählen

3. Option eingeben [Führungen/Pfad/nur Querschnitte] <nur Querschnitte>: nur Querschnitte

© CFturbo Software & Engineering GmbH



Einstellungen für Erhebung

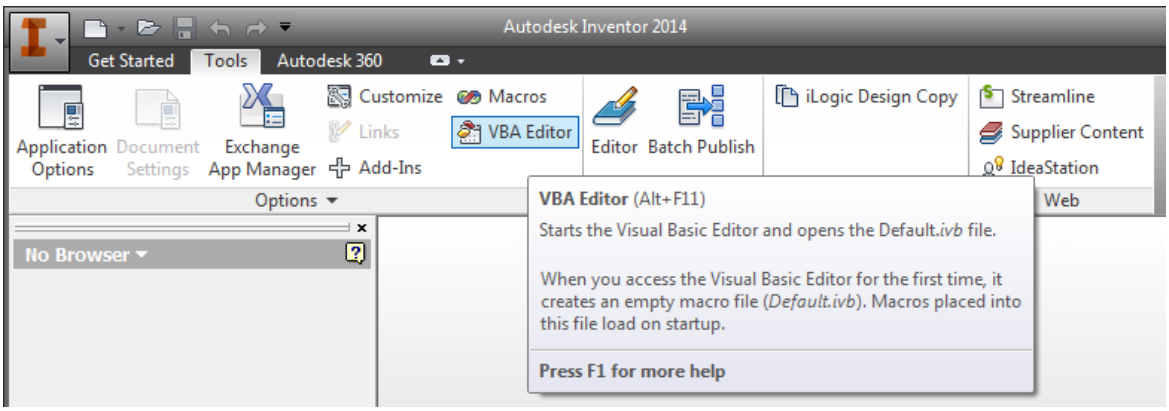
4. Schritte 1 bis 4 für geschlossenen Teil des Gehäuses wiederholen

6.2.1.4.4.2 Inventor (Autodesk, Inc.)

Der Import der Daten erfolgt durch ein Makro, dass in CFturbo für die jeweilige Geometrie erzeugt wird. Diese Makro wird in Inventor geladen und ausgeführt. Das Makro lädt Kurven und konstruiert daraus alle Flächen des Modelles.

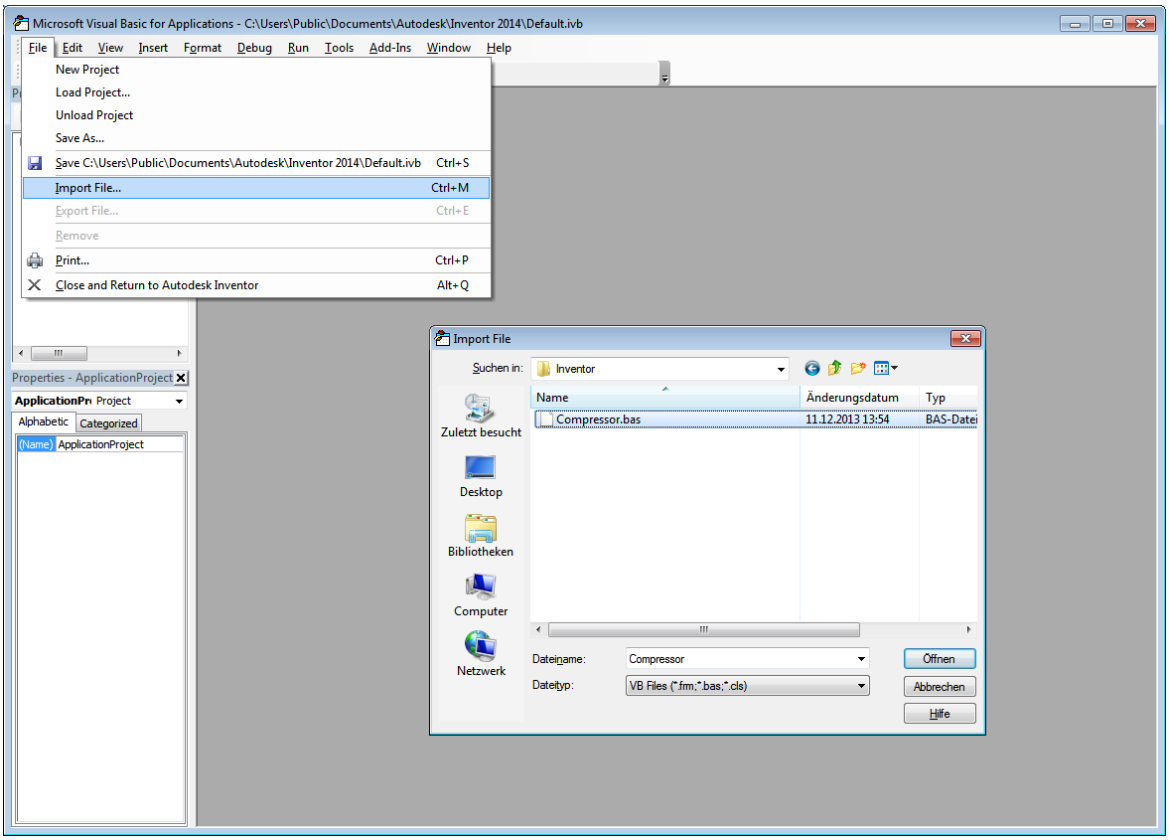
Um ein Makro zu starten muss dieses in ein bestehendes Projekt importiert werden.

- Tools | VBA Editor

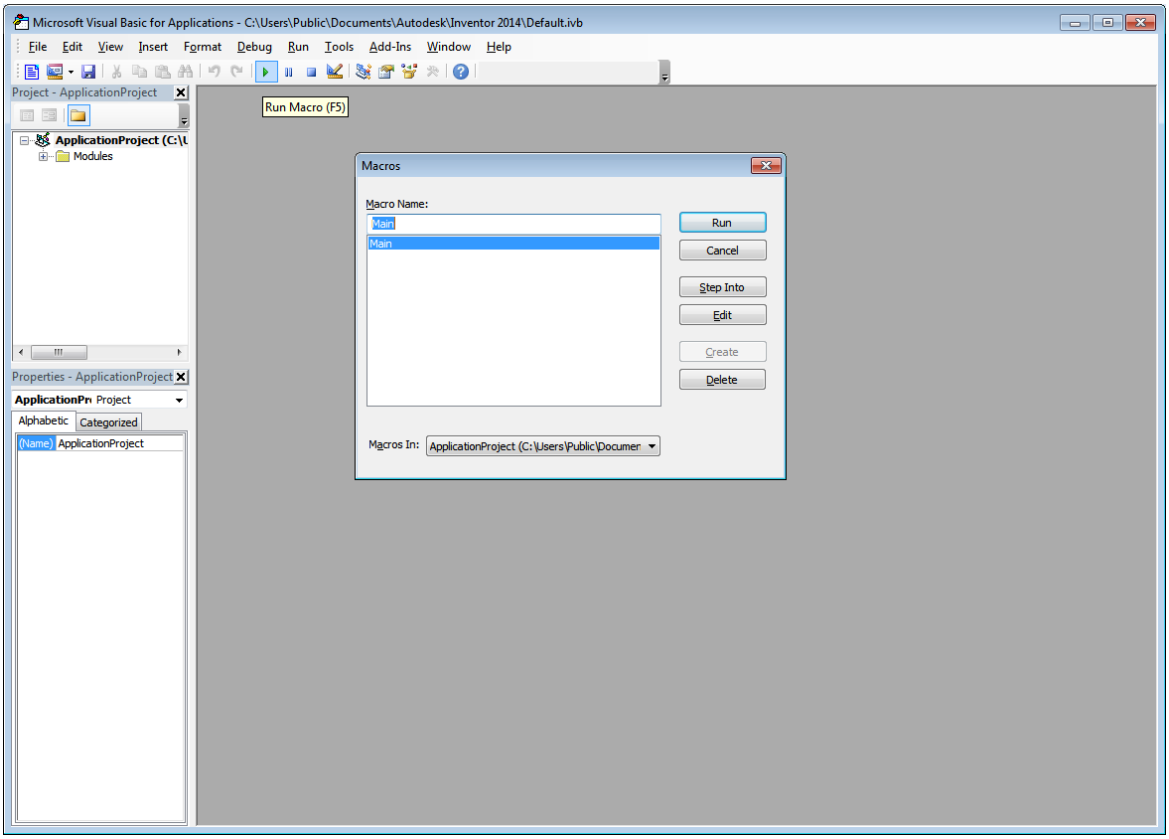


- Mit *File* | *Import File...* Dateiauswahl-Dialog öffnen und *.bas Makro-Datei öffnen, ggf. muss zuvor

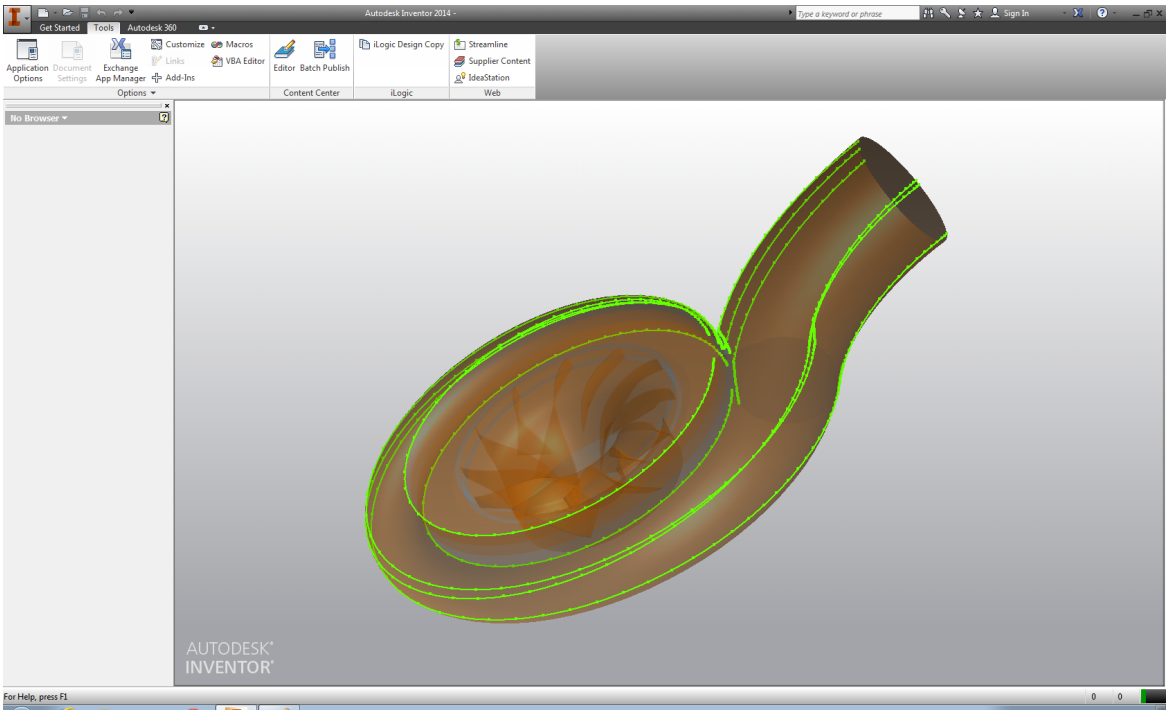
über *File* | *New Project* ein neues Projekt erstellt werden



- Importiertes Makro ausführen: *Run* | *Run Macro (F5)* Dialog mit *Run* schließen



- Je nach Komplexität des Modelles kann die Ausführung einige Zeit in Anspruch nehmen



6.2.1.4.4.3 CATIA (Dassault Systèmes)

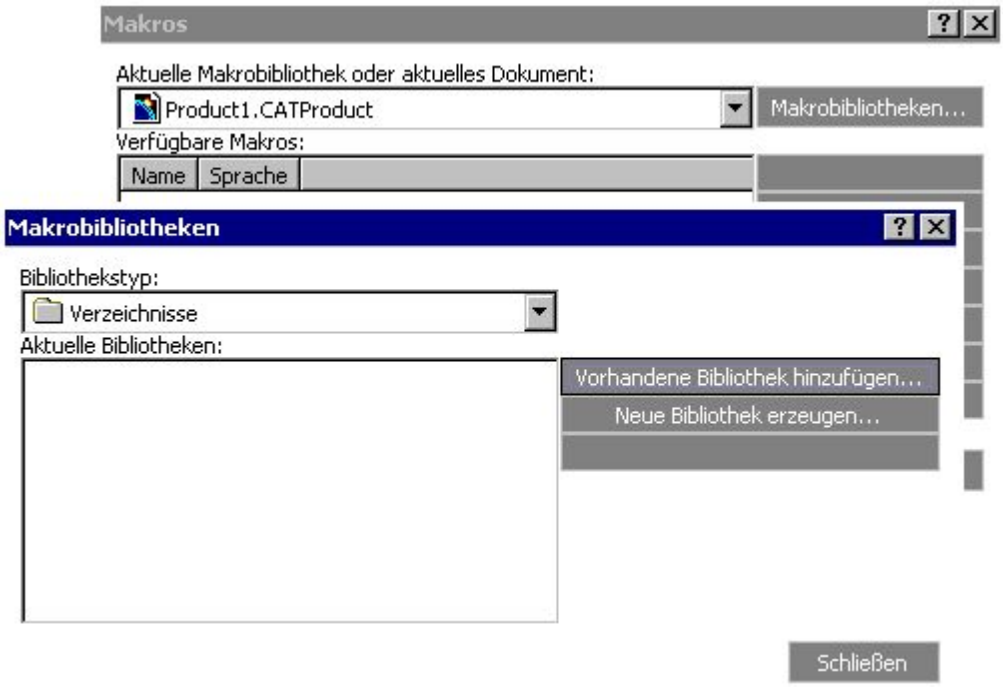
Der Import der Daten erfolgt durch ein Makro, das in CFturbo für die jeweilige Geometrie erzeugt wird. Diese Makro wird in CATIA geladen und ausgeführt. Das Makro lädt Kurven und konstruiert daraus alle Flächen des Modelles.

Öffnen des Makrodialogs

- *Tools* | *Makro* | *Makros* oder Tastenkombination <Alt> + <F8>
- Auswahl der gewünschten Makrobibliothek

oder

- Neue Makrobibliothek erzeugen: Schalter <Makrobibliotheken…> betätigen und in dem sich öffnenden Fenster das Verzeichnis hinzufügen (Schalter <Vorhandene Bibliothek hinzufügen…>)



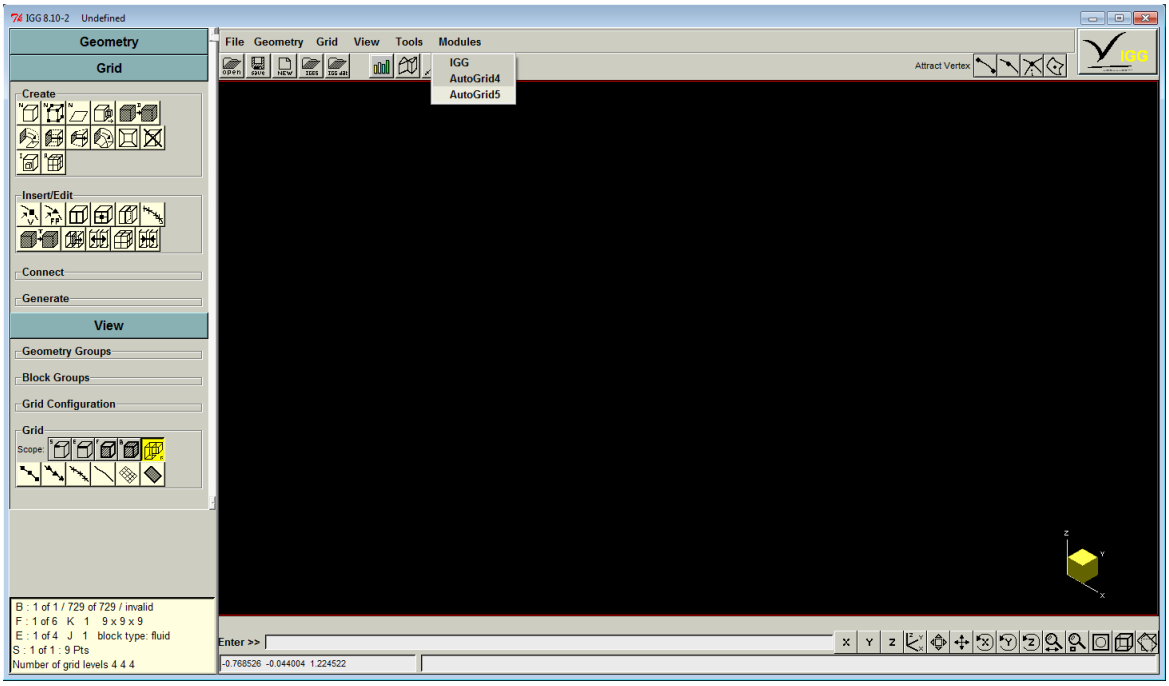
- Nach Auswahl des Verzeichnisses: Rückkehr in das Makromenü mit <Schließen>
- Makrobibliothek auswählen und ausführen

6.2.1.4.4.4 AutoGrid (NUMECA International)

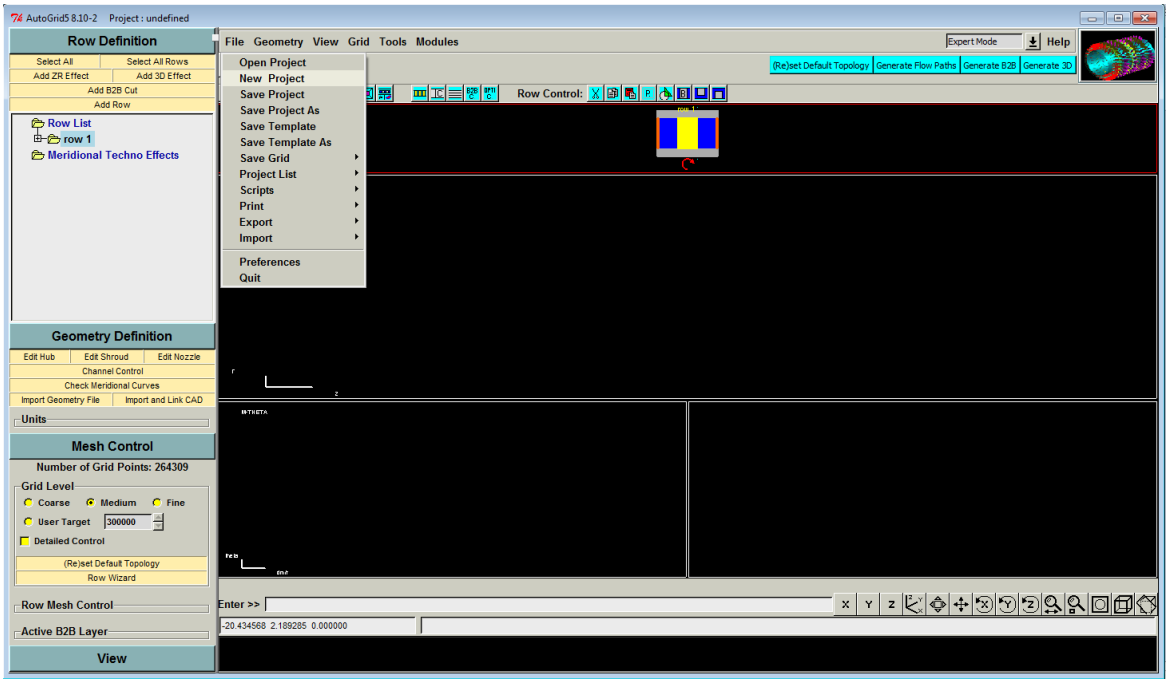
Die Laufräder werden unter CFturbo in einer „geomTurbo“-Datei gespeichert und können in Numeca AutoGrid5 geladen werden.

- IGG starten

- In AutoGrid5-Modus wechseln: *Modules* | *AutoGrid5*

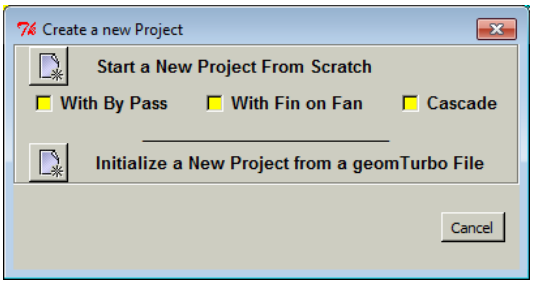


- Starten eines neuen Projektes: *File* | *New Project*

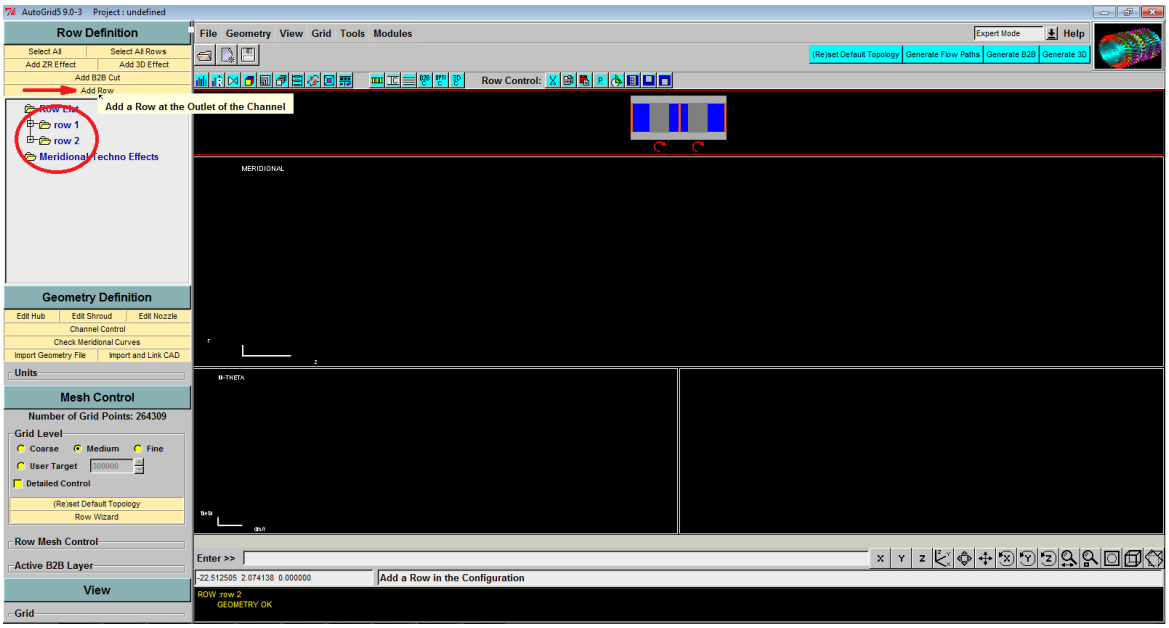


- Dialog mit Button *Initialize a New Project from a geomTurbo File* verlassen

© CFturbo Software & Engineering GmbH

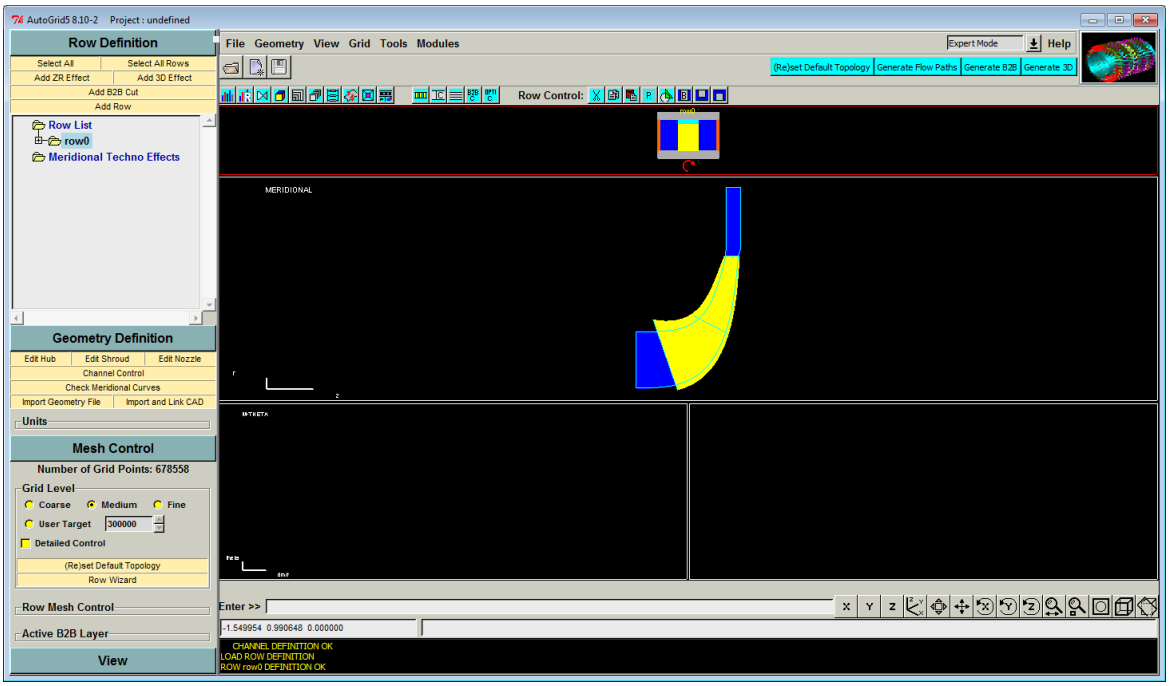


- Falls das Modell mehrere beschaufelte Komponenten enthält, müssen so viele Schaufel-Reihen wie beschaufelte Komponenten hinzugefügt werden



- *.geomTurbo-Datei auswählen

© CFturbo Software & Engineering GmbH



- Im Fall von halboffenen Laufrädern muss die Tip clearance in AutoGrid manuell übernommen werden.

6.2.1.4.4.5 Creo Parametric (PTC, Inc.)

CFturbo erzeugt folgende Dateien für den Export eines Laufrades:

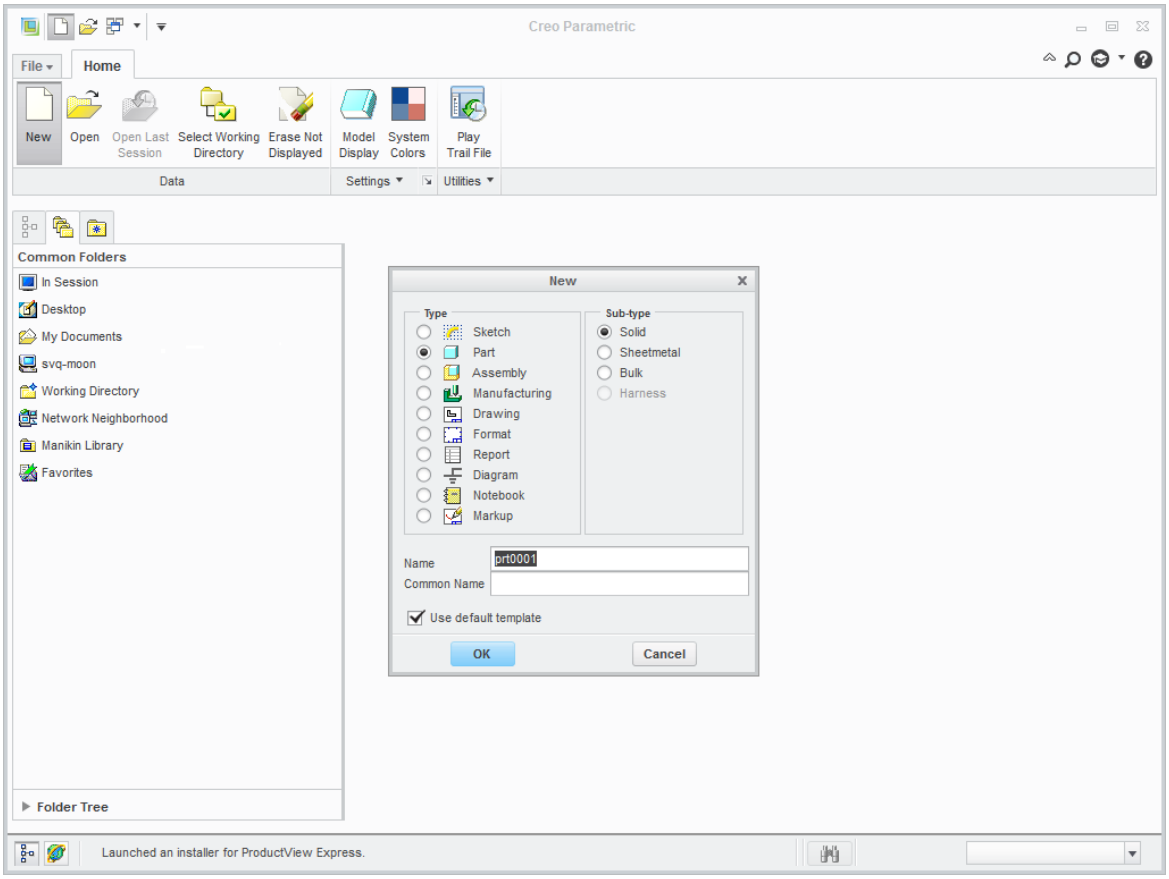
- *-hub.ibl, *-shroud.ibl: Trag- und Deckscheibenpunkte
- *-profile.ibl: Punkte für die Profile einer Schaufel
- *.ibl: alle Punkte für Trag- und Deckscheibe, Profile

Für Voluten werden folgende Dateien exportiert:

- *-contour-line.ibl: Punkte für die Spiralkontur
- *-section-closed.ibl: Punkte aller Spiralen-, Zungen- und geschlossenen Diffusor-Querschnitte
- *-section-open.ibl: Punkte aller offenen Diffusor-Querschnitte

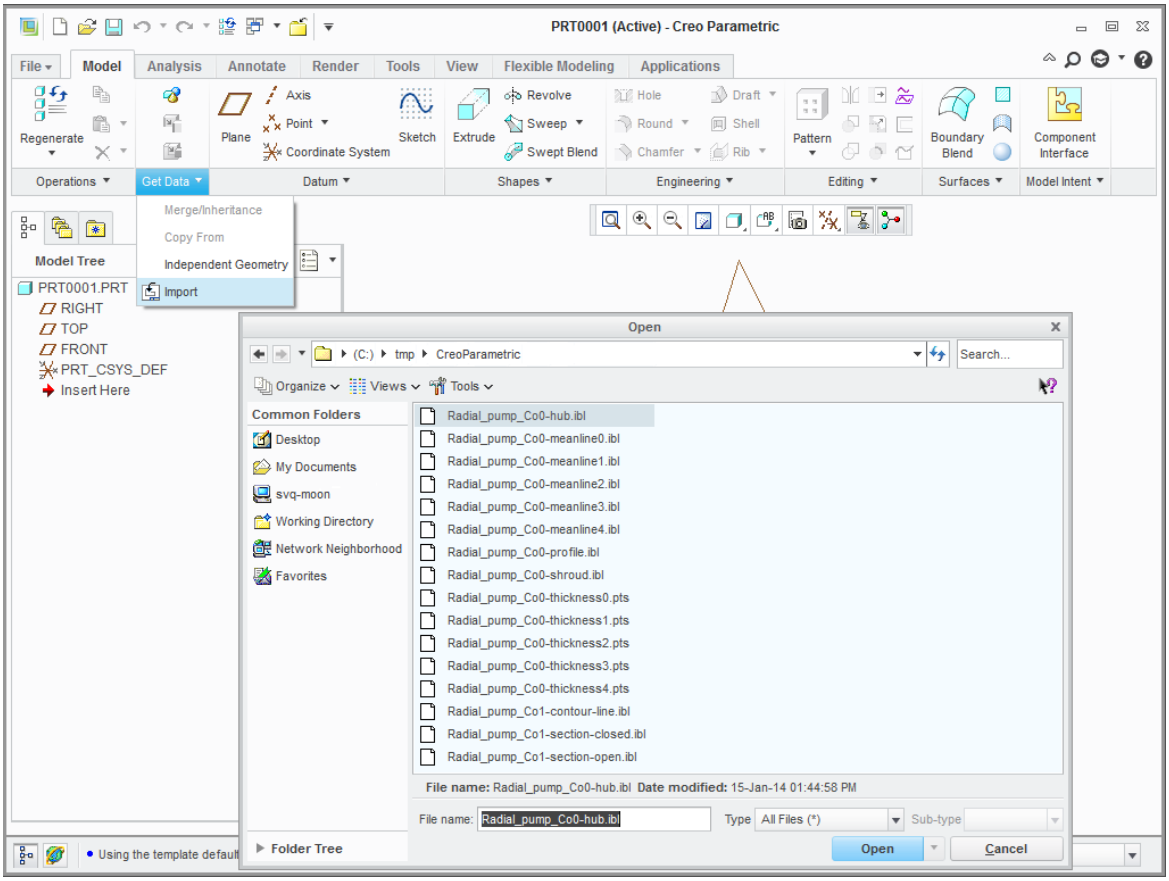
Kurven importieren

1. Home | New | Part

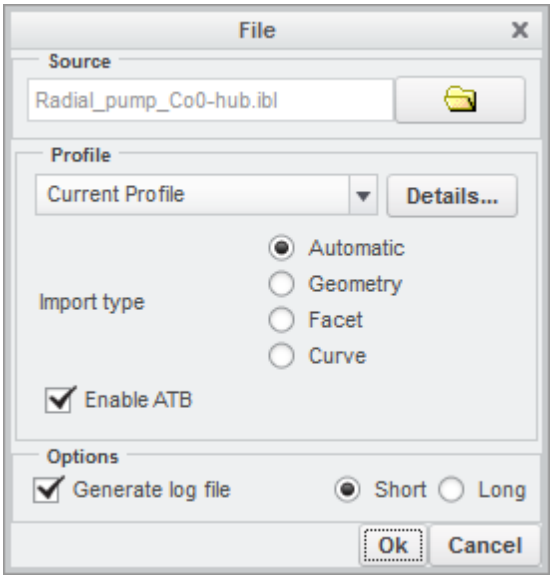


2. Model | Get data | Import. *.pts or *.ibl Datei selektieren

© CFturbo Software & Engineering GmbH

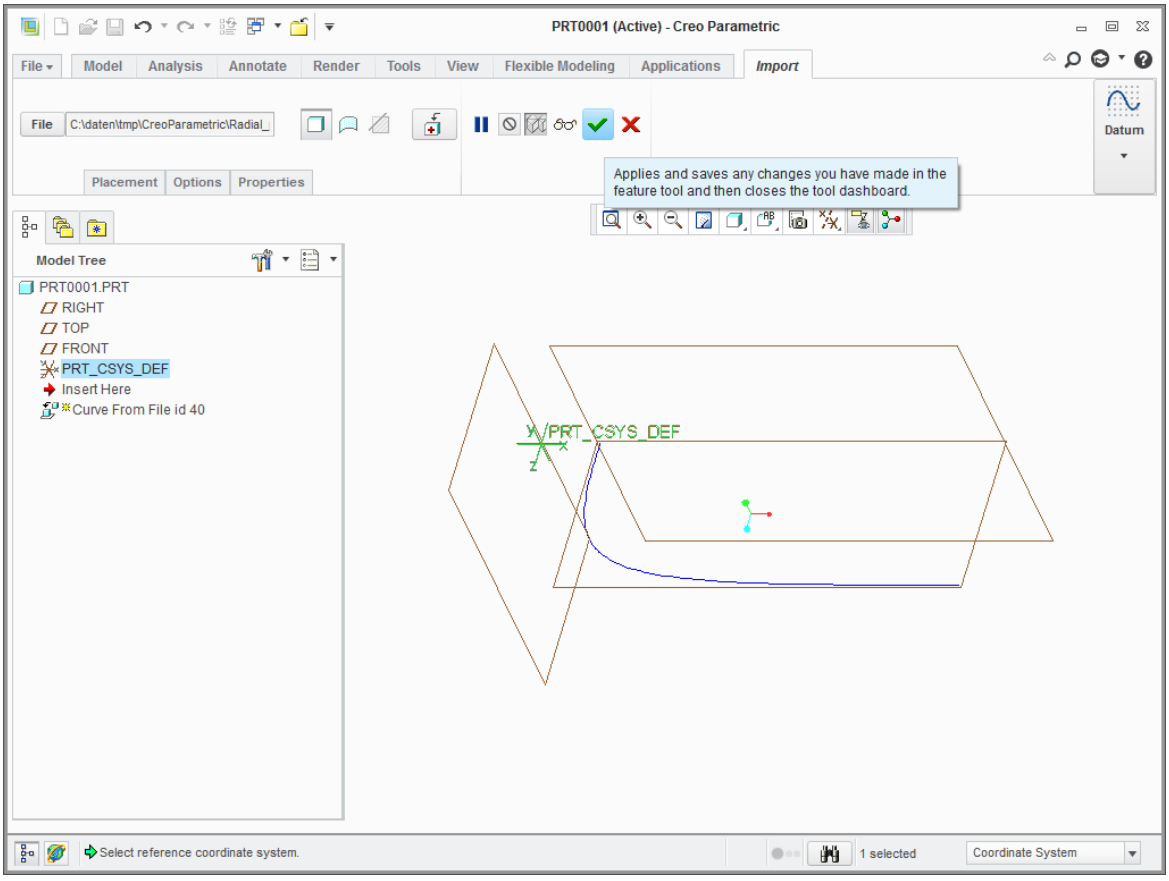


3. Passende Optionen im "File" Dialog selektieren:



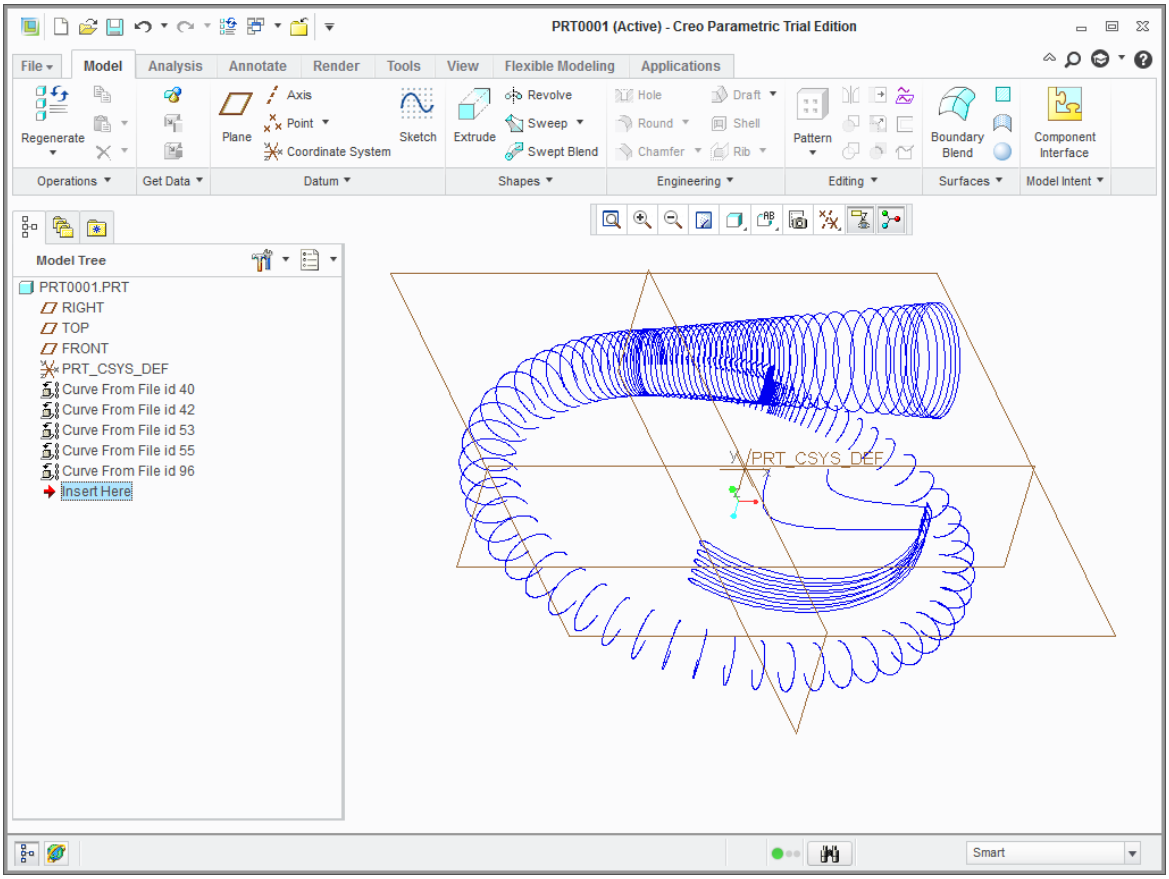
4. Bestätigen, um den Import-Prozess abzuschließen

© CFturbo Software & Engineering GmbH



Alle Kurven können über diesen Weg importiert werden

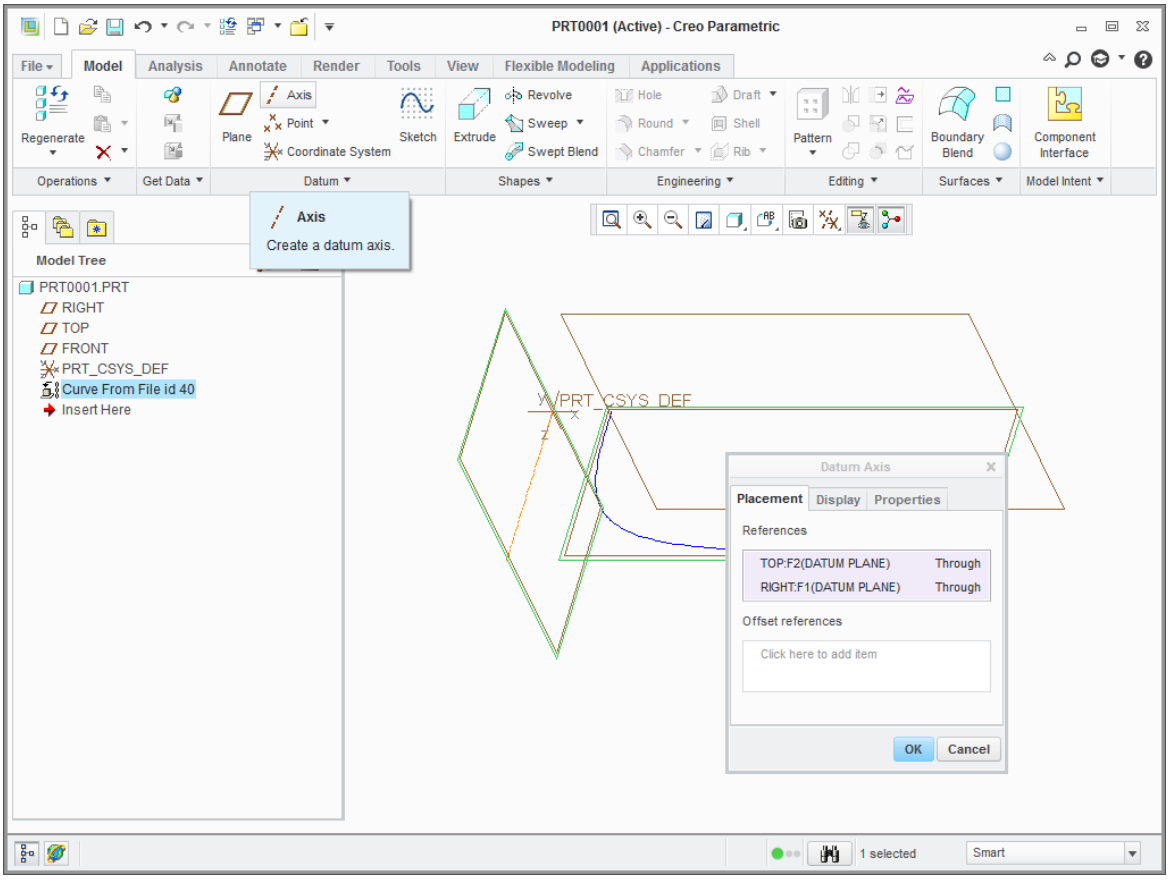
© CFturbo Software & Engineering GmbH



Erzeugen von Rotationsflächen

1. Model | Datum | Axis: Rotationsachse erzeugen durch Auswahl der entsprechenden Bezugsebenen (Hinweise: Strg-Taste für Multi-Selektion nutzen)

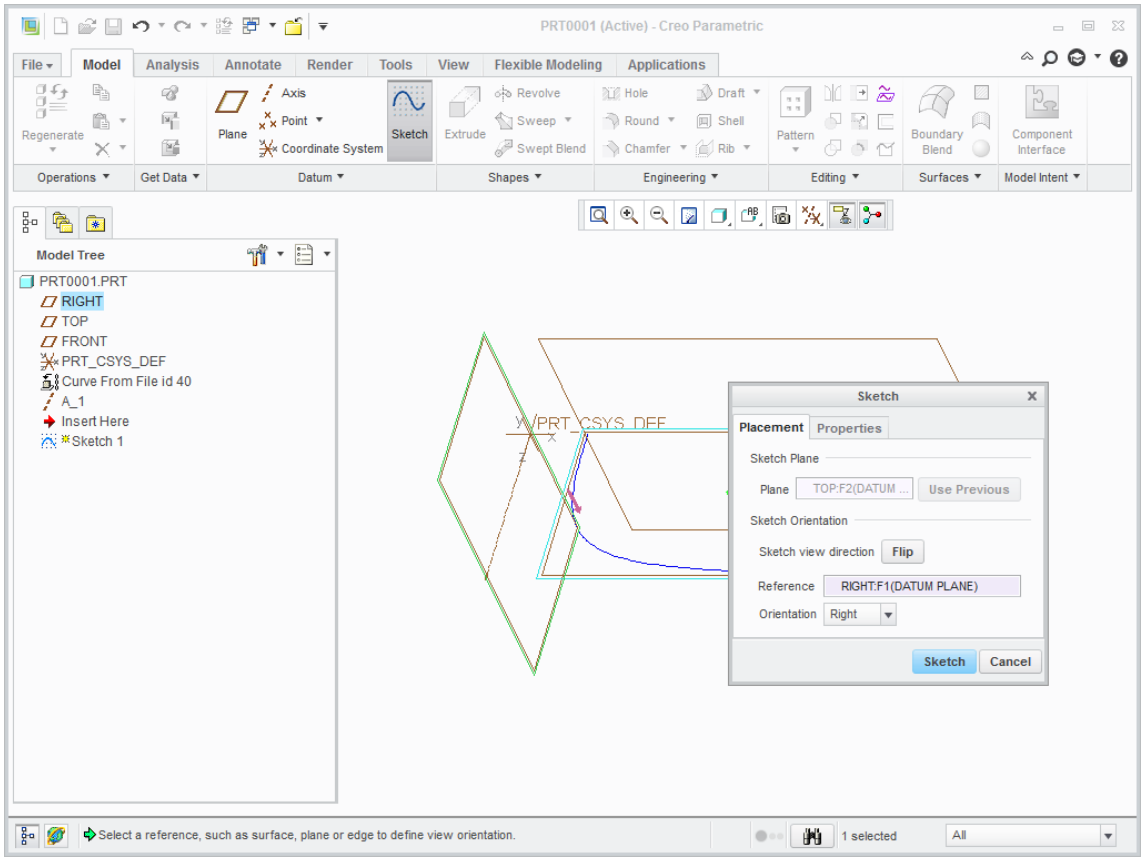
© CFturbo Software & Engineering GmbH



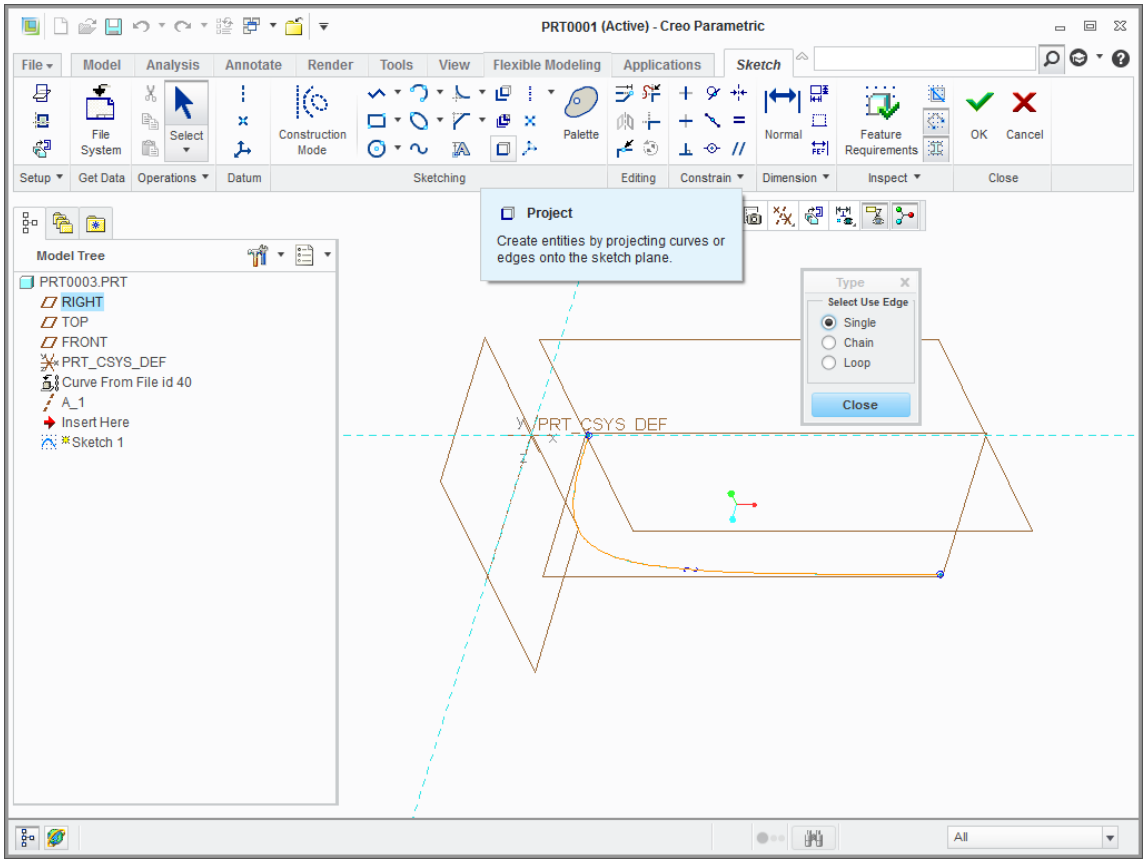
2. Model | Datum | Sketch: Neue Skizze erzeugen

- Bezugsebene der Kurve selektieren. "Reference" und "Orientation" Felder werden automatisch eingestellt.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

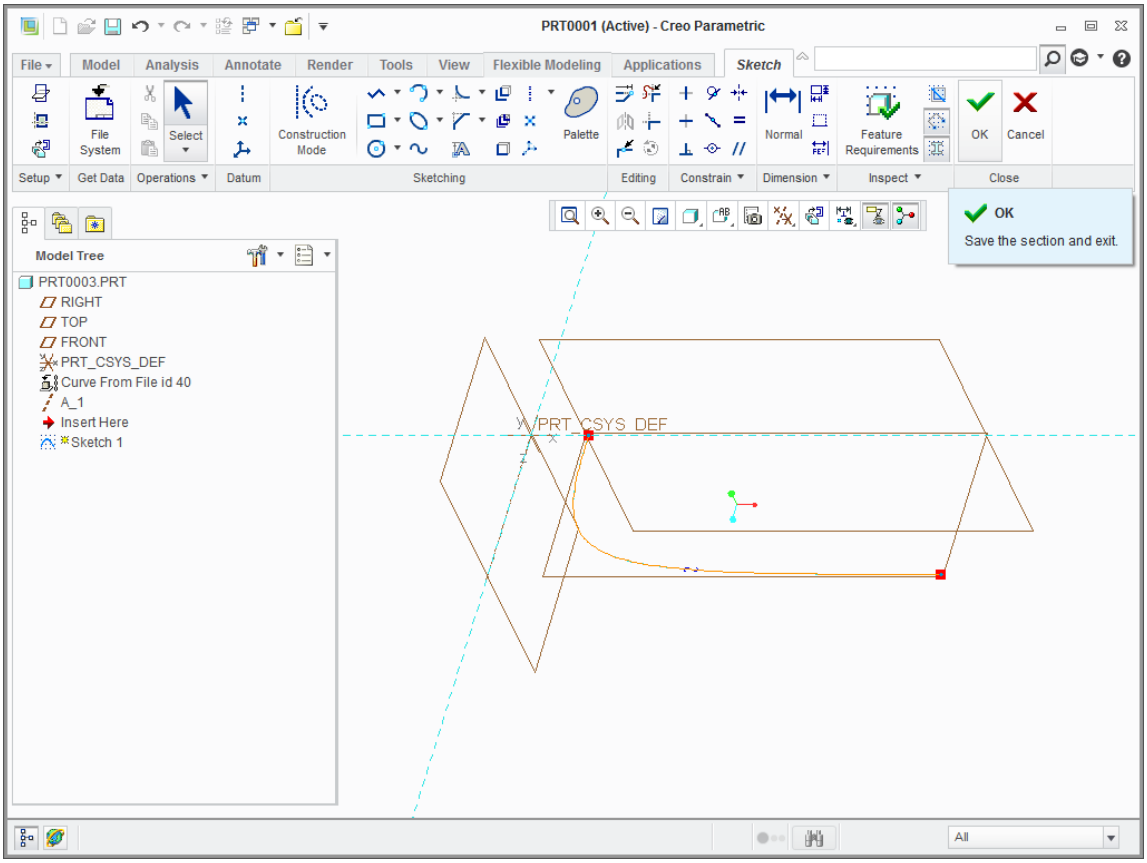


- Sketch | Sketching | Project: Kurve projizieren. Option "Single" wählen und mit "Close" schließen

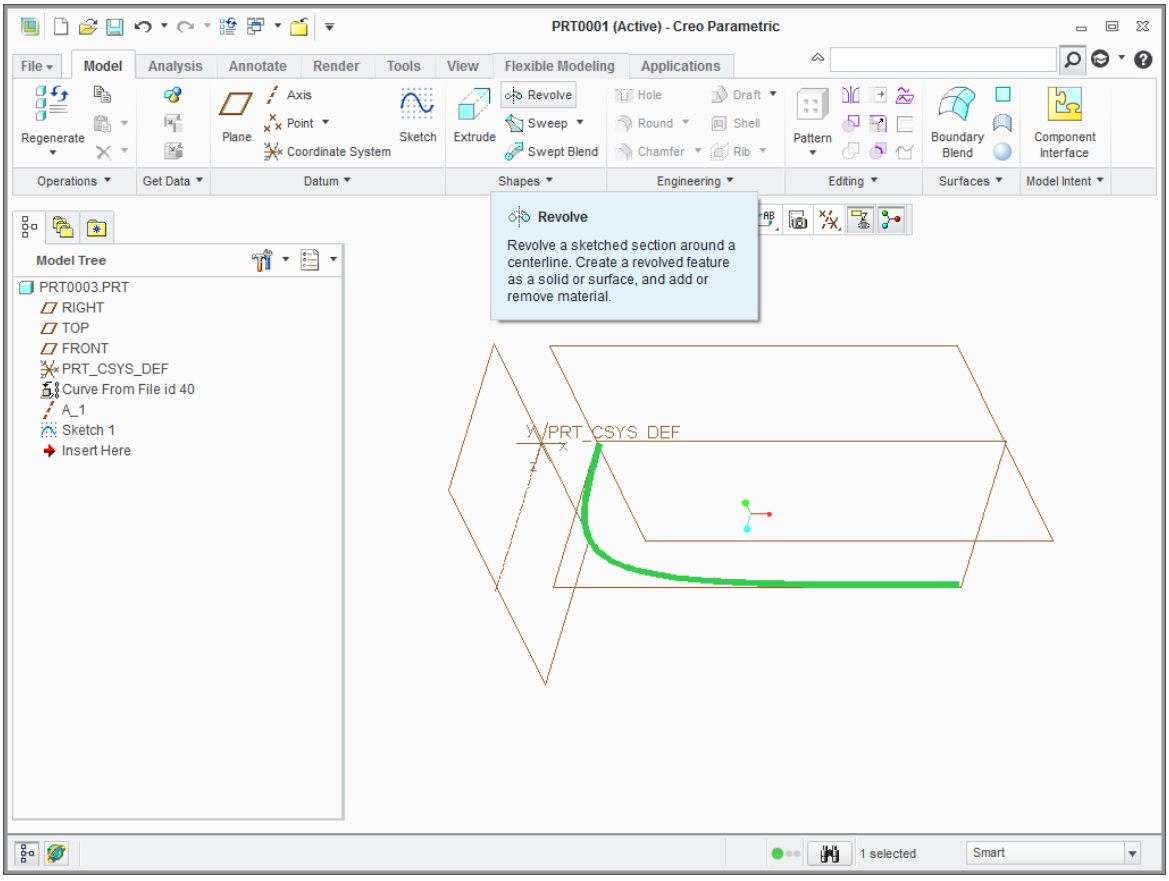


- Skizzieren mit "OK" beenden

© CFturbo Software & Engineering GmbH

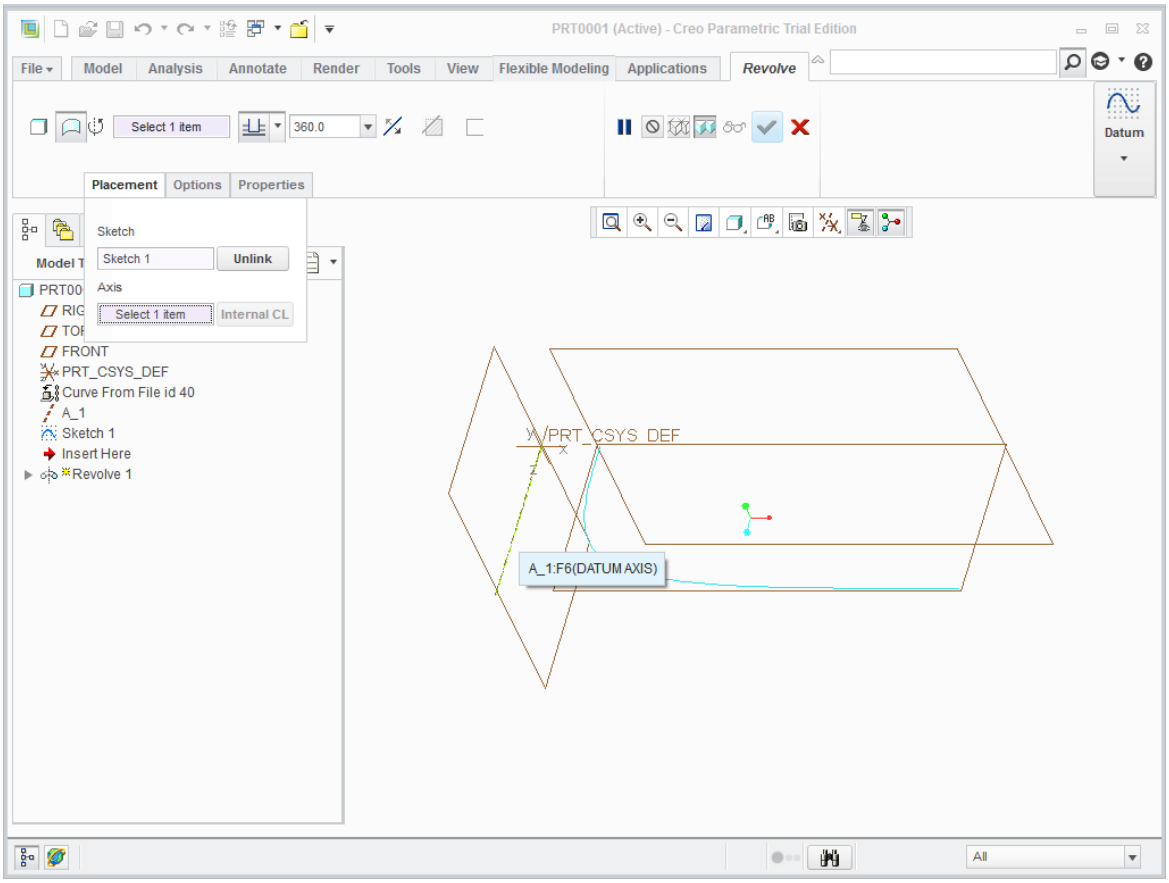


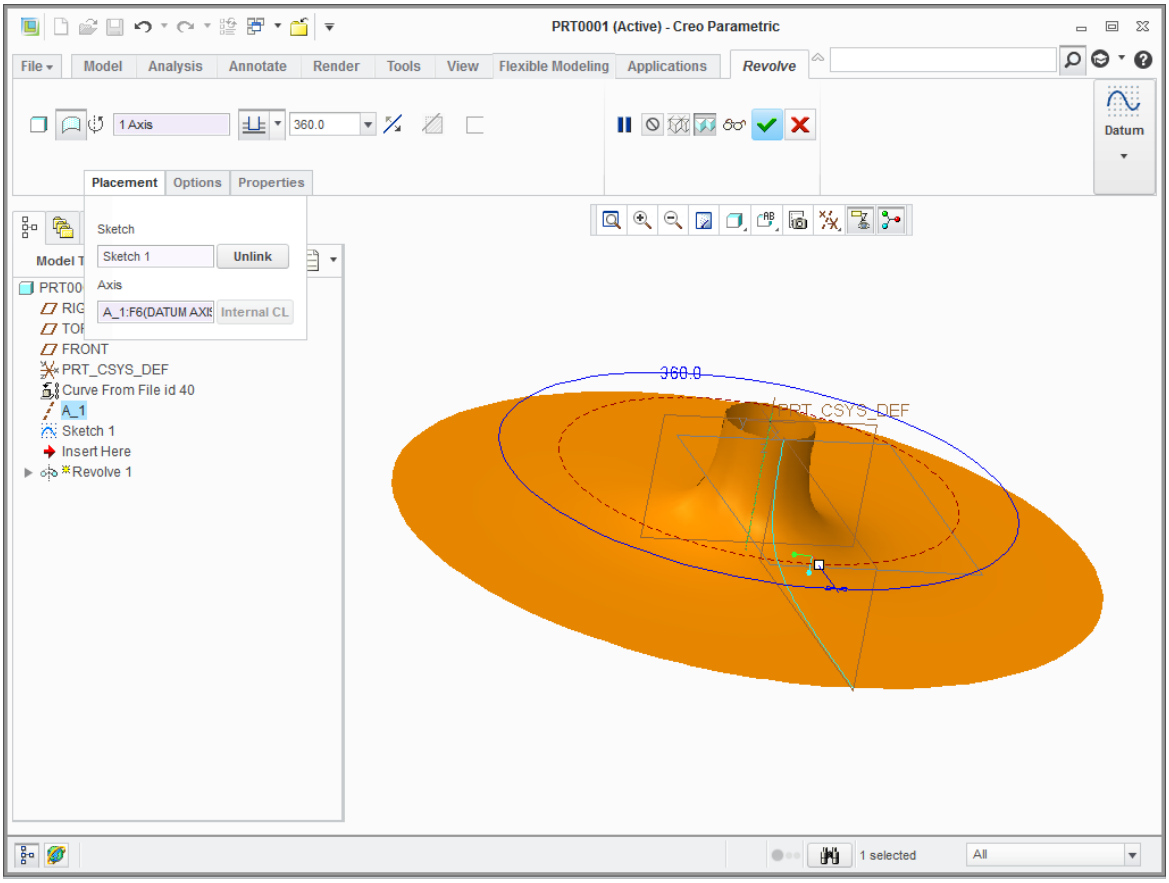
3. Kurve selektieren, Model | Shapes | Revolve



4. Klick in "Axis" Feld unter "Placements" und Rotationsachse selektieren. Somit wird die Rotationsfläche generiert

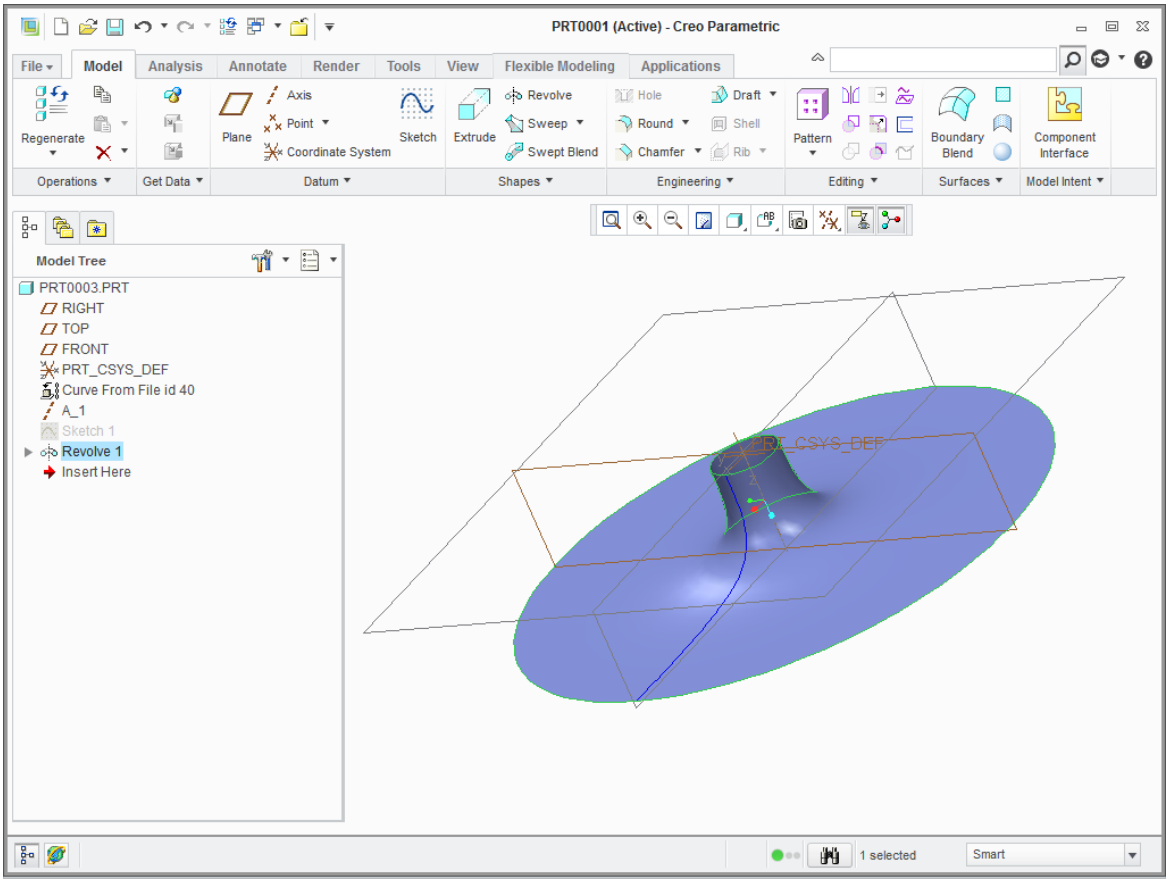
© CFturbo Software & Engineering GmbH


PRT0001 (Active) - Creo Parametric Trial Edition
File
Model
Analysis
Annotate
Render
Tools
View
Flexible Modeling
Applications
Revolve
Select 1 item
360.0
Datum
Placement
Options
Properties
Sketch
Sketch 1
Unlink
Axis
Select 1 item
Internal CL
PRT00
RIG
TOP
FRONT
PRT_CSYS_DEF
Curve From File id 40
A_1
Sketch 1
Insert Here
Revolve 1
PRT_CSYS_DEF
A_1:F6(DATUM AXIS)
All



5. Erzeugen mit "OK" beenden

© CFturbo Software & Engineering GmbH

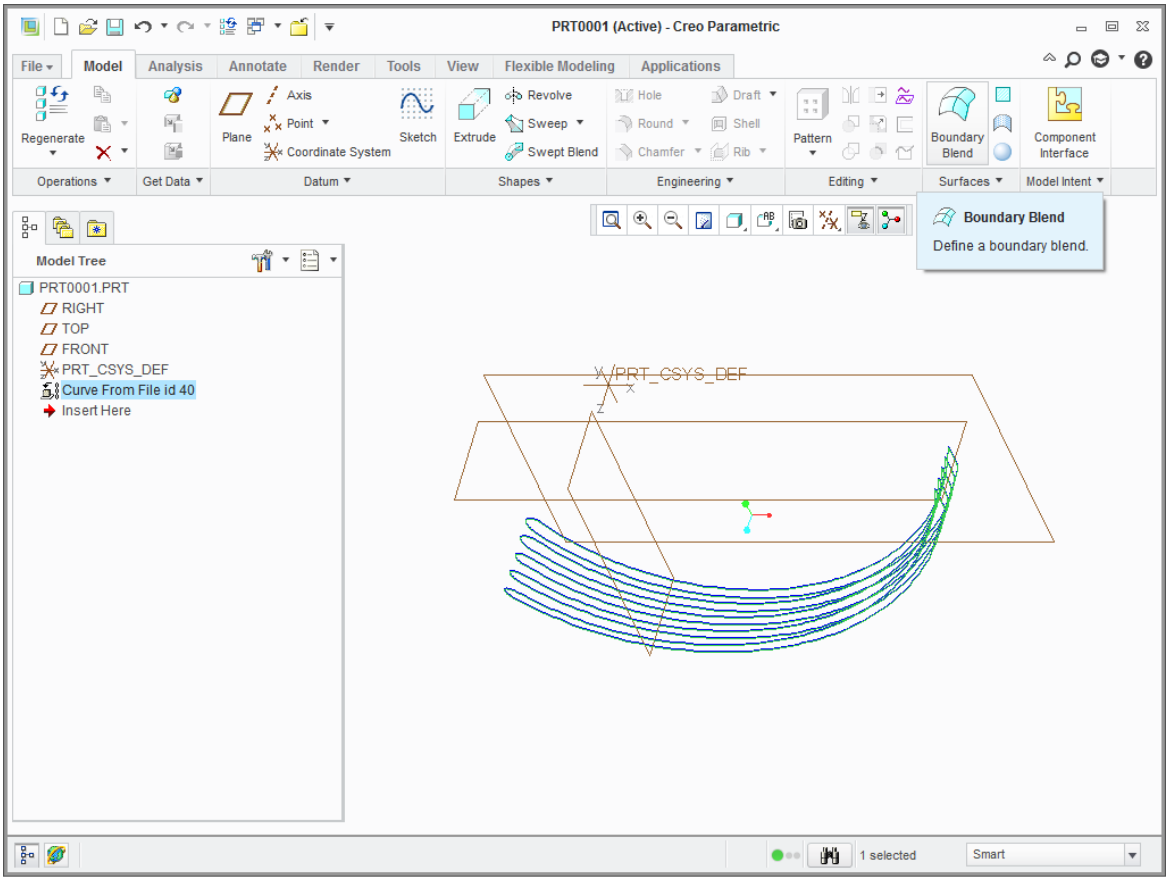


Erzeugen von Netz-Flächen

Netz-Flächen werden erzeugt durch Schaufel-Profilkurven bzw. Spiralen-Querschnitte.

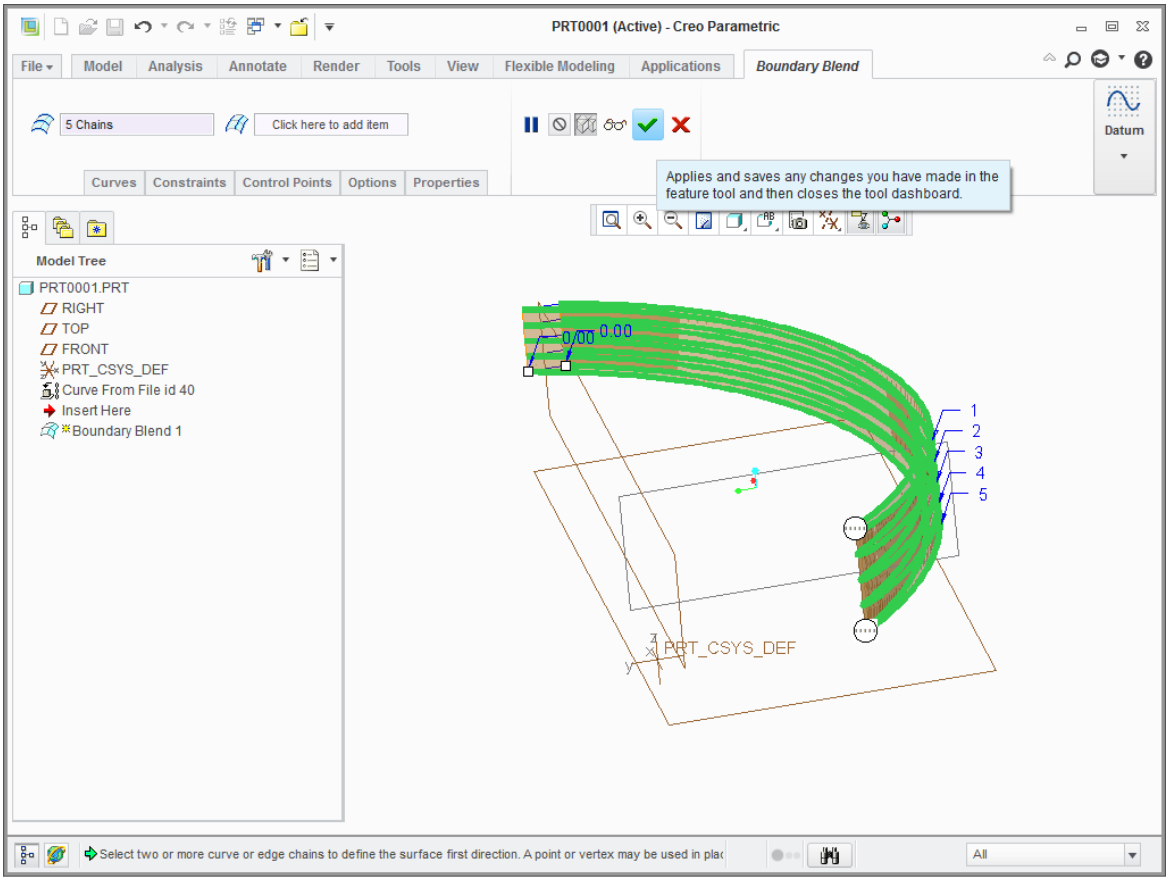
1. Model | Surface | Boundary Blend

© CFturbo Software & Engineering GmbH



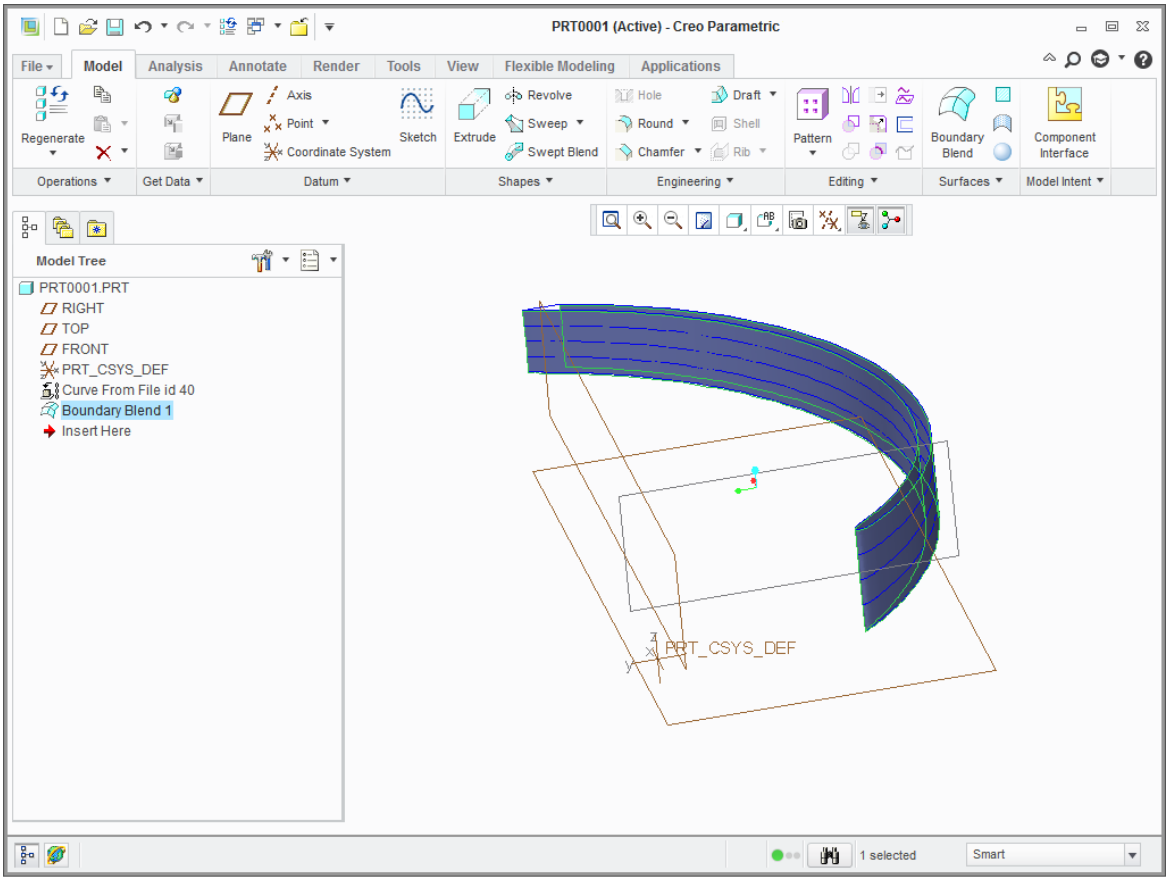
2. Gewünschte Kurven selektieren (Strg-Taste für Multi-Selektion nutzen)

© CFturbo Software & Engineering GmbH

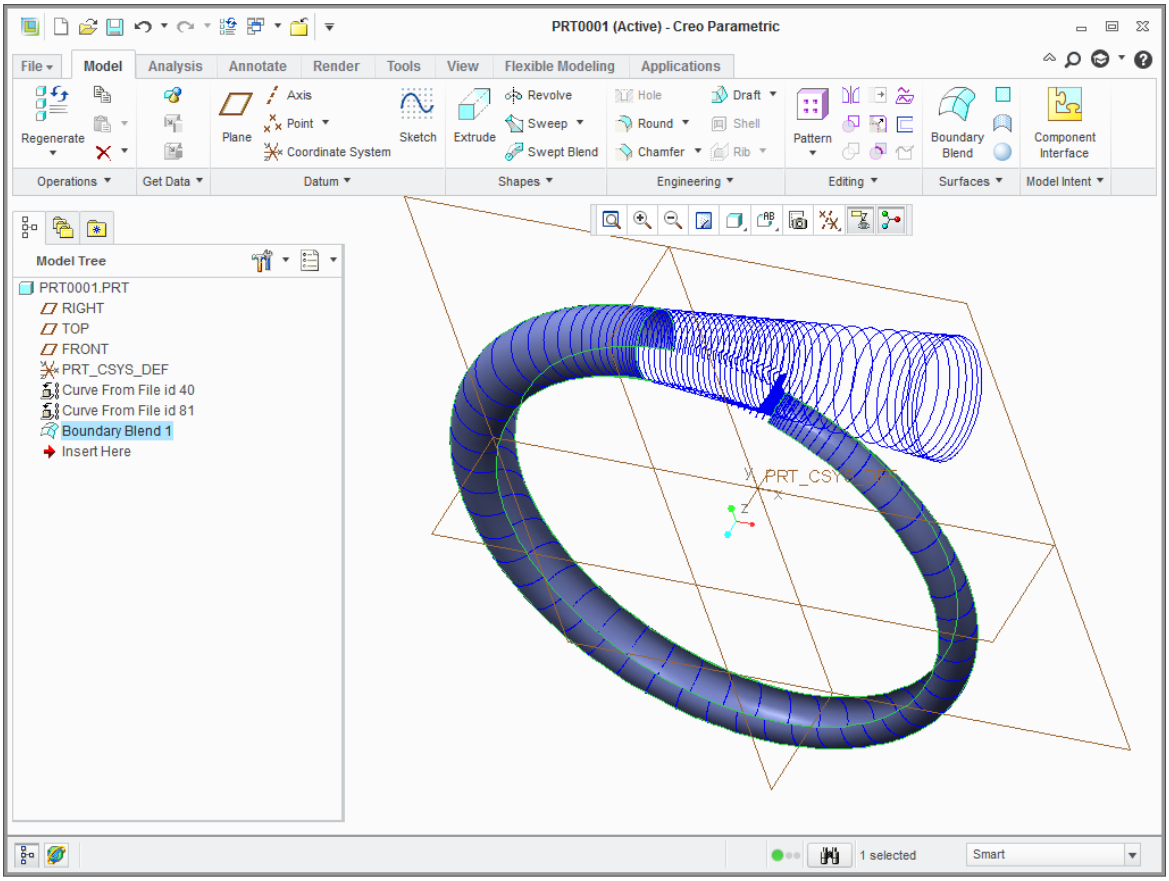


3. Erzeugen mit "OK" beenden

© CFturbo Software & Engineering GmbH



© CFturbo Software & Engineering GmbH



6.2.1.4.4.6 ICEM-CFD (ANSYS)

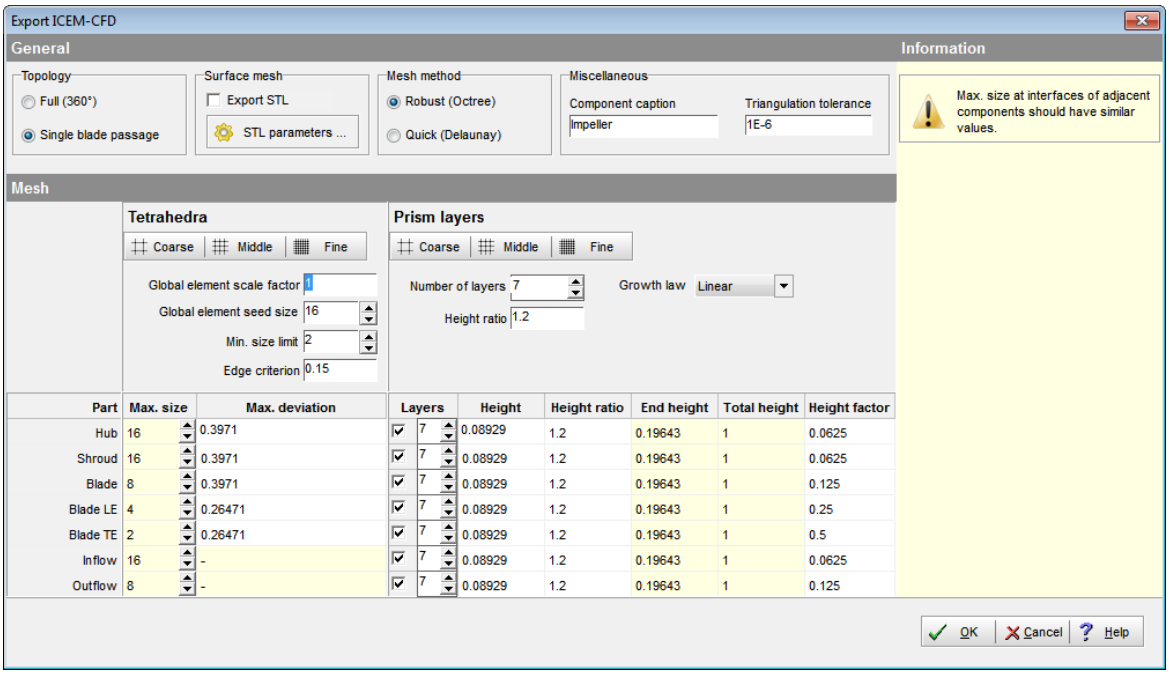
Der Export Dialog Export ICEM-CFD und die CFturbo2ICEM-Skripte sind nur mit der entsprechenden Lizenz verfügbar.

CFturbo2ICEM ist ein Skript zur automatischen Geometrieerzeugung und vollautomatischen Vernetzung von CFturbo-Komponenten.

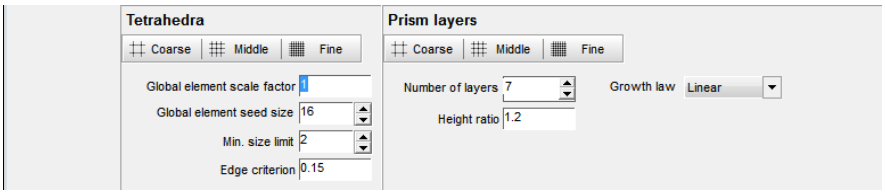
Der Export ICEM-CFD-Dialog wird ausschließlich für die "CFturbo2ICEM"-Skripte verwendet.

Es werden zwei Dateien exportiert: Geometrie mit spezifischen Familiennamen wird in der .stp Datei gespeichert. Vernetzungsparameter werden in der *.tinXML Datei gespeichert. Eine genauere Beschreibung zu einzelnen Parametern findet sich in der zum Skript bereitgestellten Dokumentation.

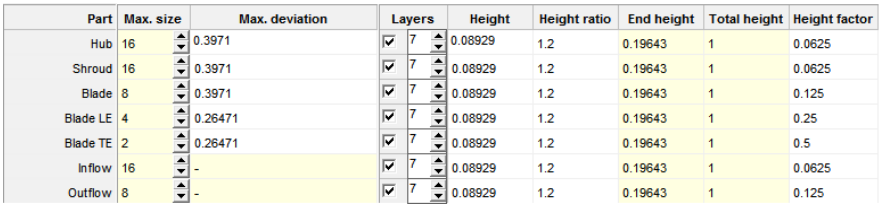
© CFturbo Software & Engineering GmbH



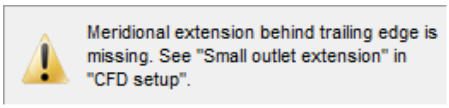
Globale Einstellungen



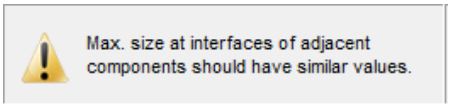
Lokale Einstellung



Warnungen:



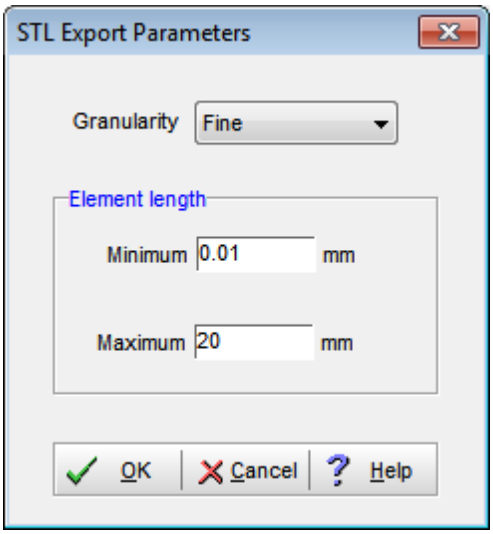
Eine Erweiterung am Austritt wird empfohlen im Hinblick auf gute Netzqualität im Bereich der Hinterkante.



Die Zellgröße am Interface benachbarter Komponenten sollte zueinander passen.

6.2.1.4.4.7 STL

Einige Parameter sind über "**Set parameters**" verfügbar, um die Qualität/ Auflösung der STL-Geometrie zu beeinflussen.



Granularity definiert die generelle Feinheit des Element-Netzes. 5 Stufen von sehr grob bis sehr fein sind verfügbar.

Minimum element length definiert die minimale Netz-Element-Länge. Standardwert ist 0.01 mm.

Maximum element length definiert die maximale Netz-Element-Länge. Standardwert ist 20 mm.

6.2.1.4.5 Einschränkungen beim Datenexport

Miet- oder Dauerlizenz (Rental / Permanent)

Bei der Nutzung einer normalen Lizenz (Miet-, Dauerlizenz) treten keinerlei Einschränkungen bezüglich des Datenexports auf.

Demo- / Testlizenz

Die Export Funktionalität kann eingeschränkt sein, wenn CFturbo mit einer Demo- / Testlizenz betrieben wird.

In diesem Fall ist der Datenexport für alle selbstentworfenen Komponenten deaktiviert.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Um trotzdem die Leistungsfähigkeit der CAD/CFD-Schnittstellen zu demonstrieren, ist der Datenexport möglich für alle CFturbo Standard-Beispiele.

Diese Standard-Beispiele sind zu finden

(1) im CFturbo Installationsverzeichnis: im Verzeichnis **Examples**

(2) auf der CFturbo Website: http://www.cfturbo.de/download.html

6.2.1.5 Import 3D geometry

? Project | Project | Import 3D

Der 3D-Import ermöglicht das Darstellen von 3D-Daten in den Formaten IGES, STEP, STL und BREP oder von CFturbo-Projekten (*.cft), um sie beispielsweise mit dem aktuellen Entwurf zu vergleichen oder nachzubauen. Die Geometrien werden im 3D-Modell 163 angezeigt und können transformiert 171 und exportiert werden.

Bei importierten CFturbo-Projekten handelt es sich um einen reinen 3D-Daten-Import. Die Struktur der 3D-Daten wird im 3D-Modell-Baum 170 angezeigt, es können aber keine Entwurfsschritte bearbeitet werden.

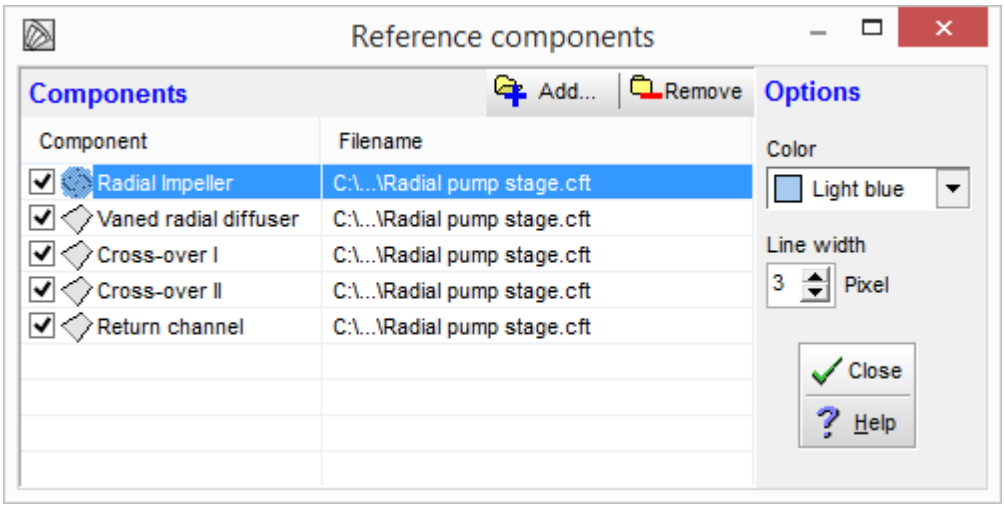
Falls das Importieren sehr lange dauert, sollte man eine niedrigere Auflösung wählen (Modell-Darstellung 164).

6.2.1.6 Reference components

? Project | Project | Reference components

Diese Funktionalität dient dazu, separate Entwürfe gleichzeitig darzustellen, um sie vergleichen und gezielt verändern zu können.

© CFturbo Software & Engineering GmbH



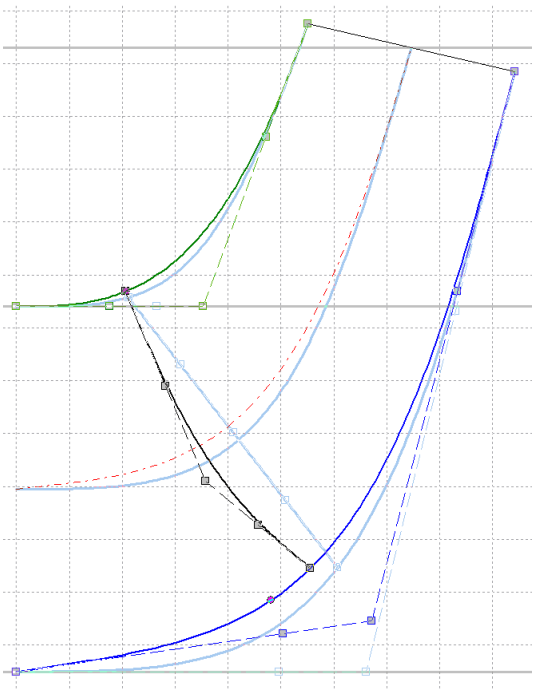
Über den **Add...**-Schalter können beliebig viele Referenz-Projekte (*.CFT- Dateien) hinzugefügt werden. Die Komponenten werden einzeln dargestellt und jeder kann im Bereich **Options** eine Farbe und eine Linienstärke zugeordnet werden.

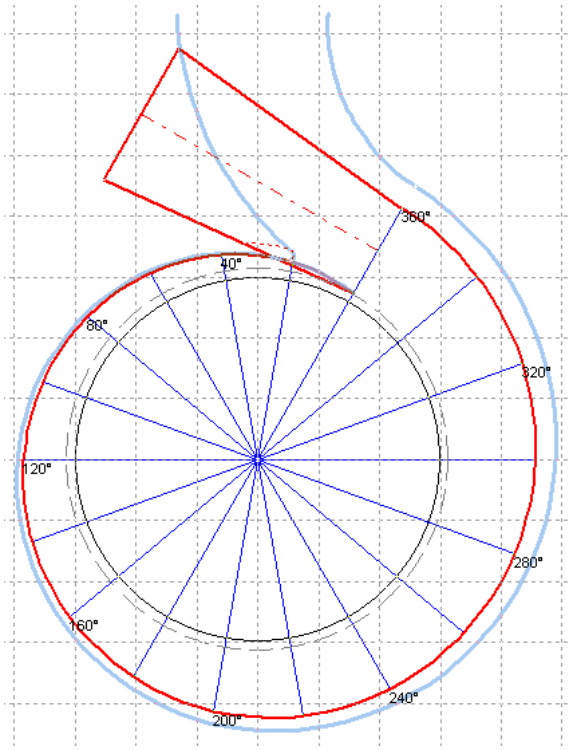
Über den **Remove**-Schalter kann eine Referenz-Komponente wieder aus der Liste entfernt werden. Sie kann jedoch auch durch das Markierungsfeld am Anfang der Zeile deaktiviert werden.

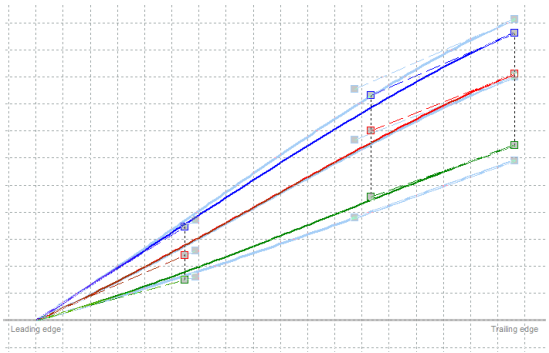
Darstellung in Dialogen

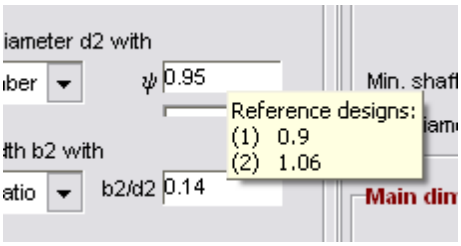
Die Referenz-Geometrien werden, entsprechend dem Komponenten-Typ, in den Dialogen mit der gewählten Farbe und Linienstärke dargestellt. Zahlenwerte erscheinen in einem Hinweisfenster über den entsprechenden Eingabefeldern, wenn man die Maus darüber bewegt.

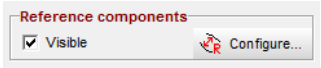
© CFturbo Software & Engineering GmbH











Rechts unten in den Entwurfs-Dialogen kann die Darstellung der Referenzgeometrien komplett ausgeschaltet werden und der Dialog zur Konfiguration aufgerufen werden.

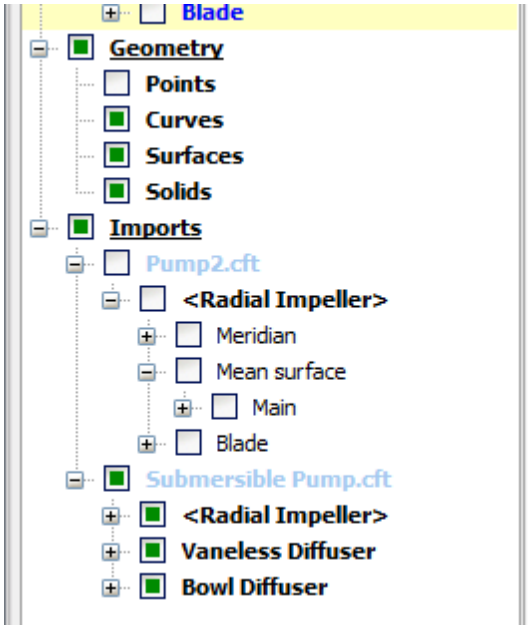
Zu beachten: Wenn eine Referenzgeometrie in einem Entwurfs-Dialog hinzugefügt wird, ist die importierte Geometrie u.U. initial nicht sichtbar, wenn sie sich weit entfernt von der derzeit entworfenen Geometrie befindet. Es wird keine automatische Skalierung des Diagramms durchgeführt.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

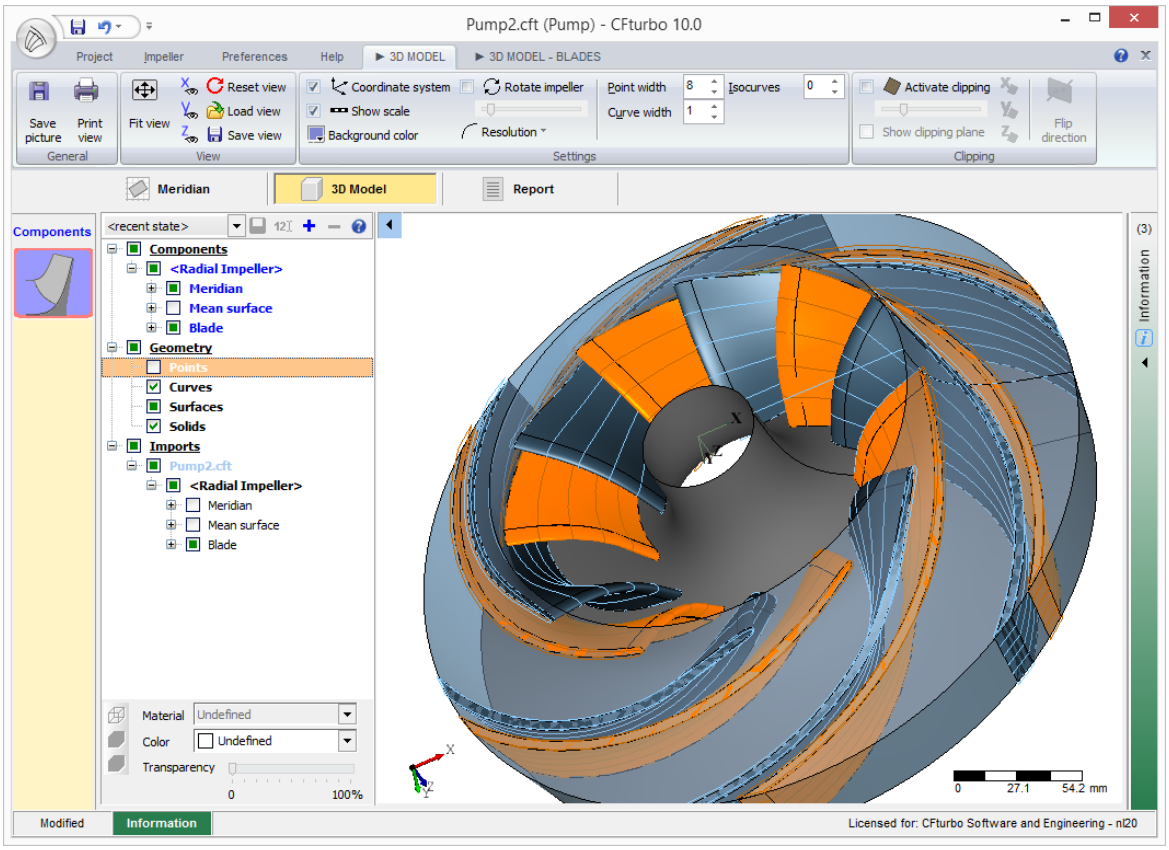
Darstellung im 3D-Modell

Die Referenzgeometrie wird außerdem als 3D-Modell dargestellt.

Im Modell-Baum werden alle Referenzgeometrien im Bereich "Imports" angeordnet, wobei die einzelnen Bestandteile analog zur normalen Geometrie konfiguriert werden können.



© CFturbo Software & Engineering GmbH



6.2.1.7 Show/Hide messages

? Project | Project | Show/ Hide messages

Dieser Schalter klappt den Nachrichten-Bereich am rechten Rand des Hauptfensters auf oder zu.

Mehr Informationen zum Nachrichten-Bereich sind im Kapitel Geöffnetes Projekt 53 verfügbar.

6.2.1.8 Undo

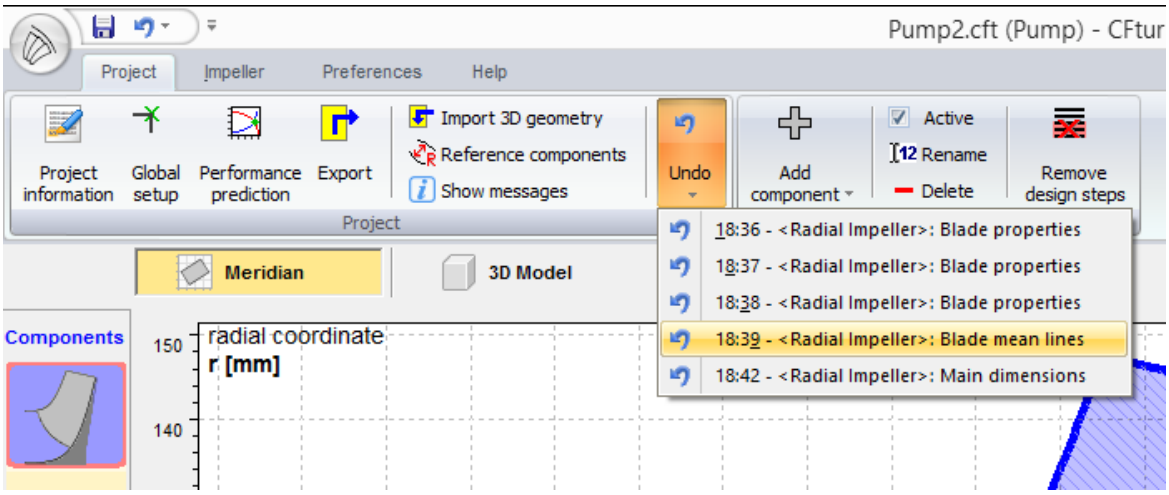
? Project | Project | Undo

Ein Klick auf den Undo-Button öffnet das Entwurfsprotokoll. Es enthält alle Entwurfsschritte seit dem Öffnen/ Neuanlegen des Projektes in zeitlicher Reihenfolge.

Durch Auswahl eines Eintrages in der Liste wird diese Aktion und alle darauf folgenden rückgängig gemacht.

Vorher kann optional der aktuelle Entwurf gespeichert werden.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

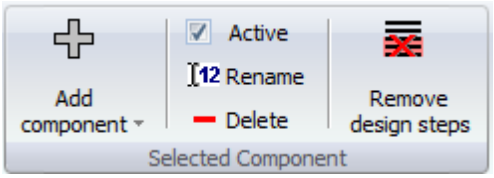


Der Undo-Button befindet sich auch standardmäßig in der Schnellstartleiste.

6.2.2 Selected Component

? Project | Selected Component

Alle Operationen in dieser Gruppe beziehen sich auf die aktuell ausgewählte Komponente des Projektes.



→ Add component 130

→ Active/ Rename/ Delete 131

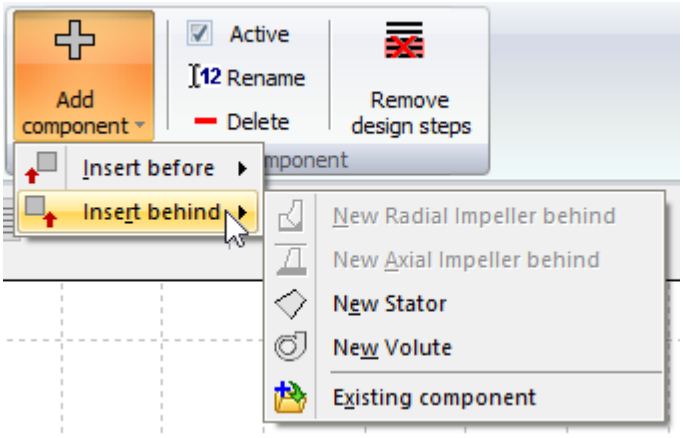
→ Remove design steps 133

6.2.2.1 Add component

? Project | Selected Component | Add component

Eine neue Komponente kann vor oder nach der selektierten eingefügt werden. Anschließend ist der Typ zu wählen oder es kann eine existierende Komponente aus einem anderen Projekt hinzugefügt werden.

© CFturbo Software & Engineering GmbH



Ein Projekt kann bis zu 2 Laufräder und nur ein Spiralgehäuse enthalten.

Ein Laufrad kann nur dann hinzugefügt werden, wenn die Strömungsrichtung an der ausgewählten Stelle der Laufradgeometrie entspricht.

Alternativ können Komponenten auch in der Meridian-Ansicht durch Verwendung des -Schalters zwischen benachbarten Komponenten hinzugefügt werden (siehe Meridian 159).

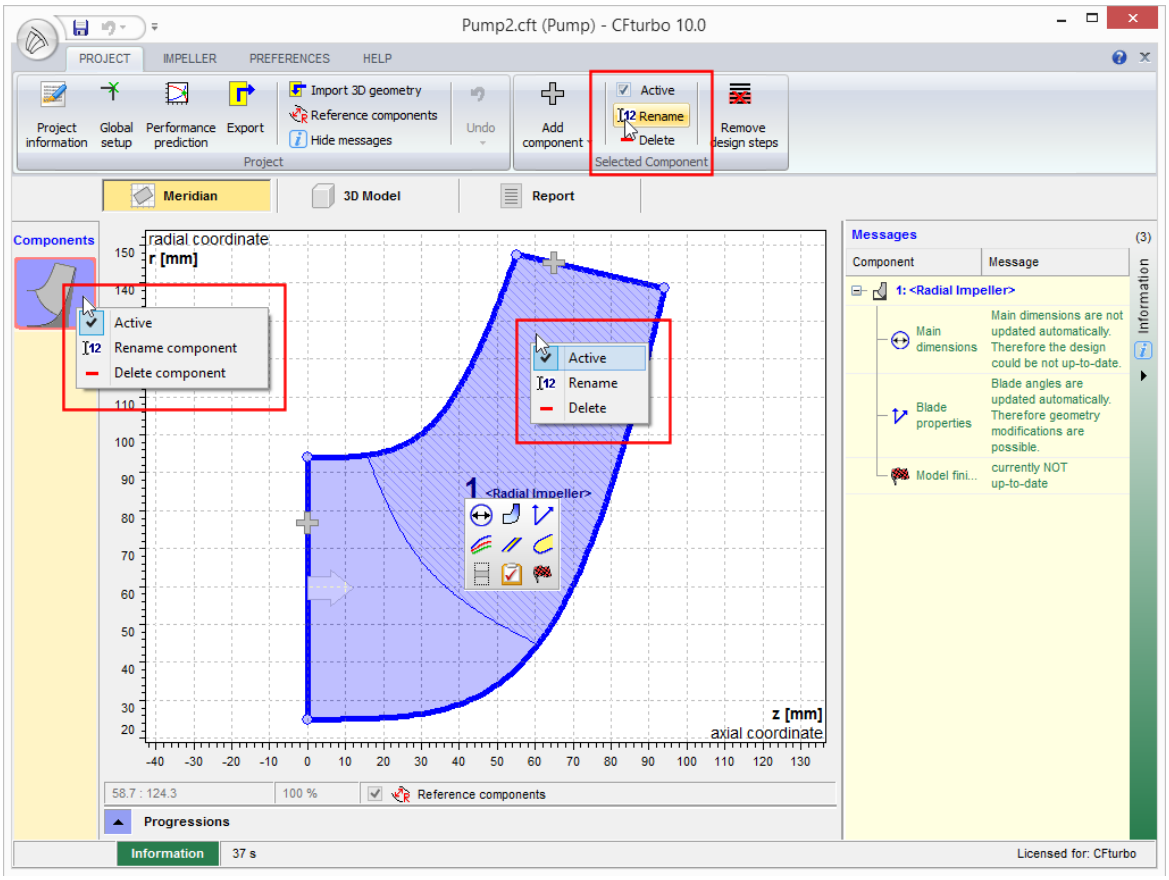
Bitte beachten:
Wenn eine Komponente an der ersten Position des Projektes (in Strömungsrichtung) hinzugefügt wird, so gelten die im Global setup 67 definierten Eintrittsbedingungen für diese Komponente.

6.2.2.2 Active/ Rename/ Delete

Die Aktionen **Active**, **Rename** und **Delete** können über folgende Möglichkeiten alternativ ausgeführt werden:

- Menü **Project | Selected Component**
- Kontextmenü der entsprechenden Komponente links in der Komponentenliste im Bereich **Components**
- Kontextmenü der entsprechenden Komponente rechts in der Meridian-Vorschau

© CFturbo Software & Engineering GmbH



? Project | Selected Component | Active

Eine inaktive Komponente wird nicht automatisch aktualisiert und kann auch nicht bearbeitet werden. In den Ansichten wird sie grau dargestellt.

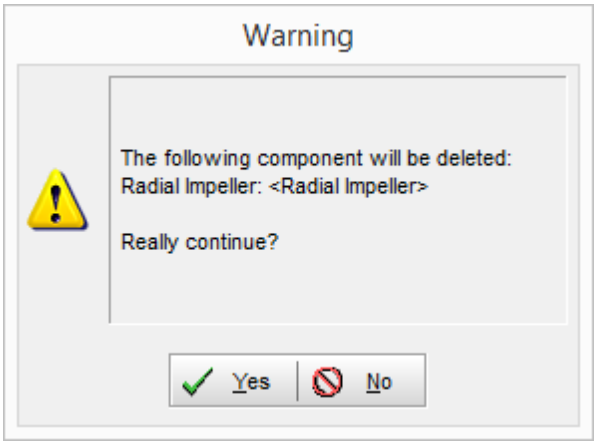
? Project | Selected Component | Rename

Ermöglicht das Umbenennen einer Komponente. Der Komponenten-Name erscheint als Hint, wenn man die Maus über das Komponenten-Symbol ganz links bewegt, sowie in der Meridianansicht, der 3D-Ansicht und im Report.

? Project | Selected Component | Delete

Die ausgewählte Komponente wird gelöscht, nachdem die Sicherheitsabfrage bestätigt wurde.

© CFturbo Software & Engineering GmbH



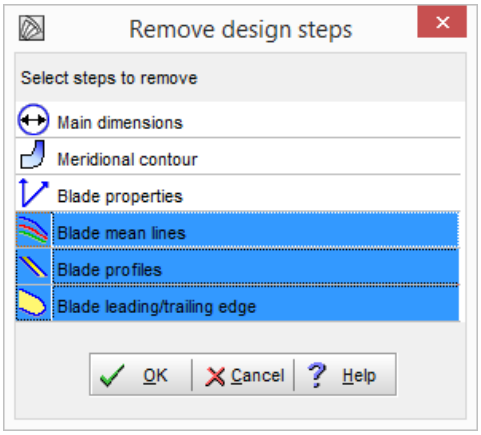
6.2.2.3 Remove design steps

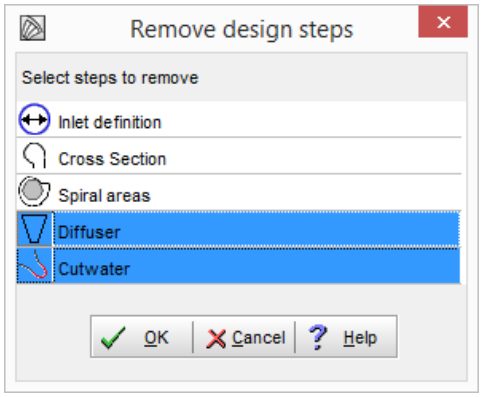
? Project | Selected Component | Remove design steps

Werden Änderungen am Entwurf durchgeführt, so werden alle darauf aufbauenden Entwurfsschritte automatisch an die durchgeführten Änderungen angepasst (parametrisches Modell).

Möchte man jedoch bei einem Entwurfsschritt vom automatischen CFturbo-Erstentwurf ausgehen, so können bestimmte Entwurfsschritte manuell entfernt werden, so dass CFturbo von einem Erstentwurf ausgeht. Dazu muss im Dialog der entsprechenden Entwurfschritt markiert und mit **OK** bestätigt werden.

Alle darauf folgenden Entwurfsschritte werden natürlich ebenfalls entfernt.





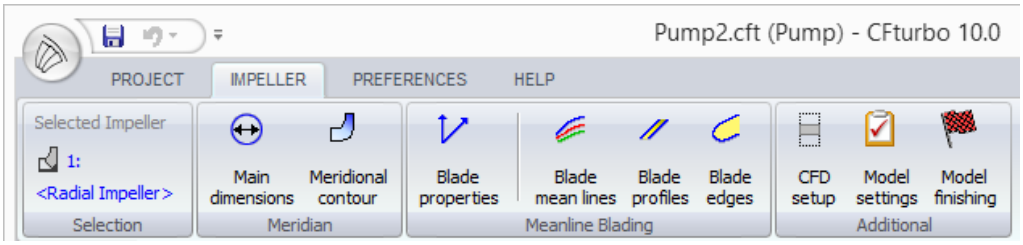
© CFturbo Software & Engineering GmbH

6.3 IMPELLER / STATOR / VOLUTE

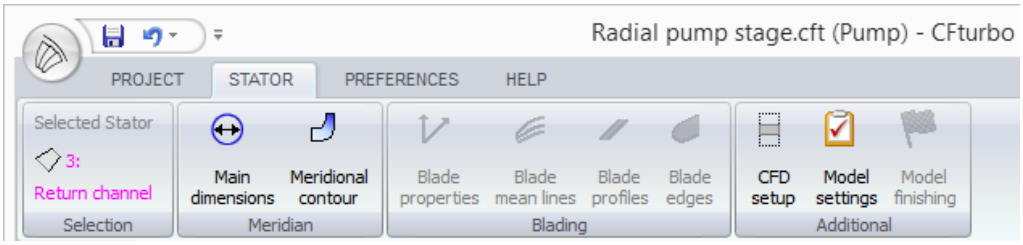
Mit Hilfe dieser Menüs findet der eigentliche Entwurf der Komponenten statt.

Für jeden Komponententyp steht eine Registerseite mit den entsprechenden Entwurfsschritten zur Verfügung:

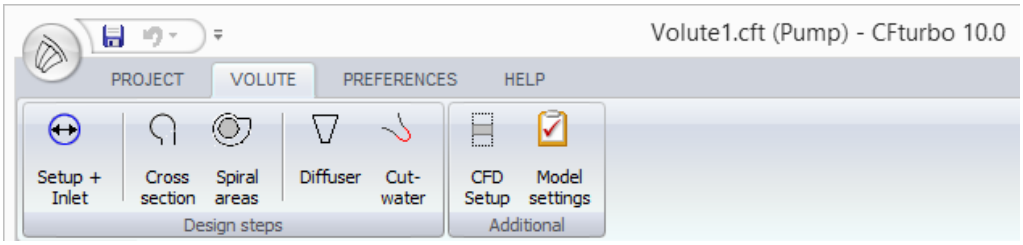
Impeller 180 (Laufrad)



Stator 377



Volute 393 (Spiralgehäuse)



Die Bedienreihenfolge wird dadurch erzwungen, dass die einzelnen Menüpunkte bzw. Schalter erst entsprechend dem Bearbeitungsstand aktivierbar sind. Alle abgeschlossenen Entwurfsschritte können wieder bearbeitet werden, wobei alle davon abhängigen Entwurfsschritte und Komponenten automatisch aktualisiert werden. Gesamte Entwurfsschritte von Komponenten können jedoch auch explizit entfernt werden, so dass für diese Teile ein Neuentwurf durchgeführt wird (siehe Entwurfsschritte entfernen 133).

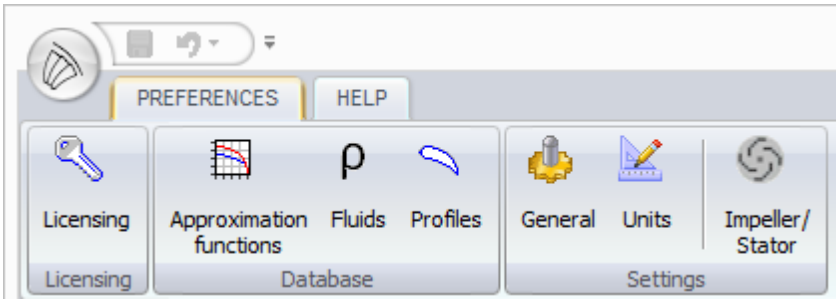
Zum Entwurf der kompletten Geometrie einer Komponente müssen alle Punkte des entsprechenden Menüs nacheinander durchlaufen werden.

Alternativ können alle diese Befehle auch in der Meridian-Ansicht durch die Nutzung der Toolbar direkt auf der selektierten Komponente ausgewählt werden (siehe Meridian 159).

© CFturbo Software & Engineering GmbH

6.4 PREFERENCES

Dieses Menü ermöglicht das Ändern verschiedener Programm-Einstellungen:



- Licensing 135 (Lizensierung)
- Approximation functions 135 (Approximationsfunktionen)
- Fluids 139 (Fluide)
- Profiles 143 (Profile)
- General 146 (Allgemeine Einstellungen)
- Units 148 (Einheiten)
- Impeller/ Stator 152 (Laufrad Standardeinstellungen)

6.4.1 Licensing

? Perferences | Licensing | Licensing

Siehe Allgemeine Hinweise/ Lizensierung 12

6.4.2 Approximation functions

? Perferences | Database | Approximation functions

Innerhalb des Programms werden zahlreiche Approximationsfunktionen genutzt. Diese Funktionen basieren auf veröffentlichten Messungen, die eine zuverlässige Vorhersage optimaler bzw. erreichbarer Werte erlauben.

In diesem Dialog werden die Approximationsfunktionen grafisch dargestellt und können individuell

© CFturbo Software & Engineering GmbH

angepasst werden. Wenn ein Projekt geöffnet ist, werden nur die projektrelevanten Funktionen dargestellt, ansonsten sind alle Funktionen sichtbar.

Derzeit sind 116 Funktionen verfügbar für die folgenden Komponenten-Typen und deren Untertypen:

- Axial Pump Impeller
  - Standard
  - Inducer
- Axial Turbine Rotor
  - Standard
  - Rocket Engine
- Axial Ventilator Impeller
  - Standard
  - Automotive Cooling
- Radial Compressor Impeller
- Radial Pump Impeller
  - Standard
  - Wastewater
- Radial Turbine Rotor
- Radial Ventilator Impeller
- Stator
- Volute

Jede Funktion hat einen hart kodierten Standard-Verlauf. Für jede dieser Funktionen können alternativ eigene, punktweise definierte Kurven hinzugefügt werden. Diese nutzerdefinierten Funktionen werden in der Datei **Functions.cftfu** gespeichert, die ausschließlich die nutzerdefinierten Funktionen enthält. Die Standardfunktionen werden nicht in einer externe Datei gespeichert und können nicht gelöscht werden. Die Standardfunktionen können nur deaktiviert werden, indem nutzerdefinierte Funktionen hinzugefügt werden, die in der Functions-Datei gespeichert werden.

Links oben im Bereich **File location** wird der Name der Datei angezeigt, die die Daten der Funktionen enthält. Standardmäßig heißt diese Datei **Functions.cftfu** und befindet sich im Installationsverzeichnis von CFturbo. Änderungen an den Funktionen werden automatisch gespeichert, wenn man den Dialog durch Betätigen des **OK**-Schalters verlässt. Sind keine Schreibrechte vorhanden, erscheint ein entsprechender Hinweis und man hat die Möglichkeit, einen

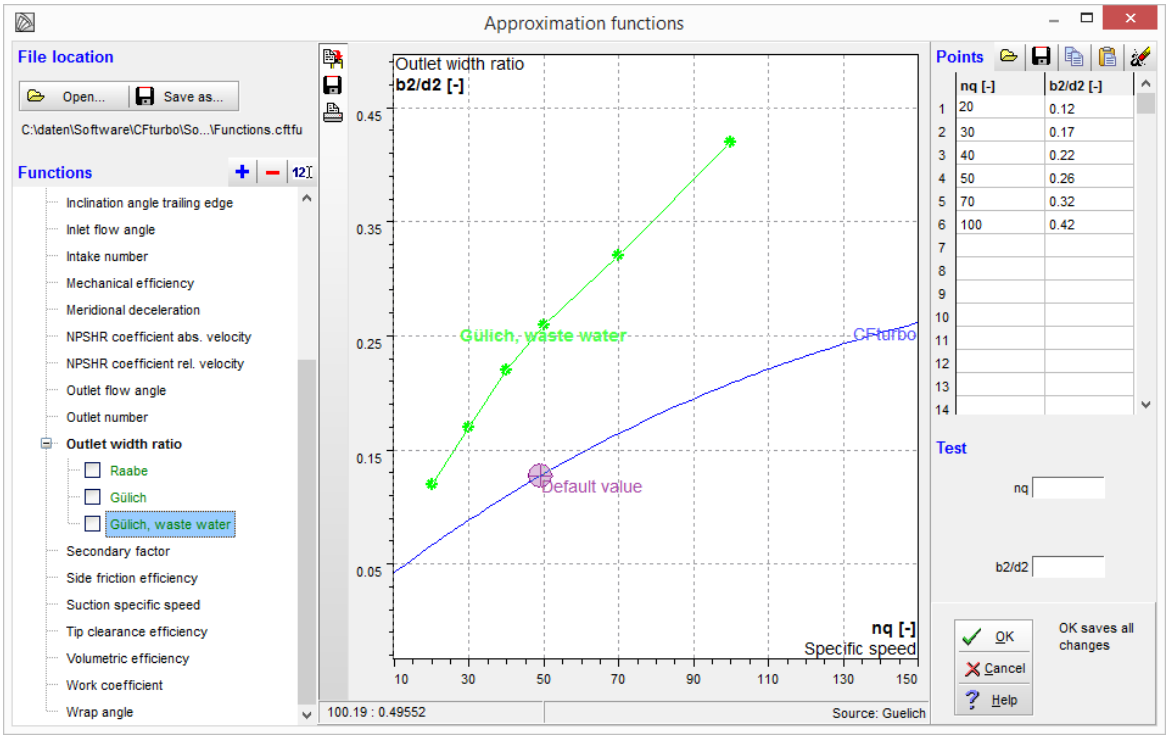
© CFturbo Software & Engineering GmbH

alternativen Speicherort auszuwählen. Dateiname und Verzeichnis können auch explizit geändert werden, indem man den Schalter **Save as...** betätigt. Mit dem Schalter **Open...** kann eine entsprechende Datei geöffnet werden.

Der Verweis auf die Funktionen-Datei ist Teil jeder Major/Minor-Installation (CFturbo x.y). Alle Updates durch Bug-Fix-Releases (CFturbo x.y.z) verändern nicht den Verweis auf die existierende Funktionen-Datei.

Die Funktionen-Datei wird durch kein Update automatisch überschrieben. Standardmäßig befindet sich die Funktionen-Datei im Installationsverzeichnis von CFturbo. Wenn eigene Funktionen definiert werden sollte die Funktionen-Datei nicht im Installationsverzeichnis von CFturbo gespeichert werden, sondern irgendwo im Firmen-Netzwerk. Dies hat 2 Gründe:

- alle Nutzer können dieselbe Datenbasis für ihre Entwürfe nutzen
- es besteht nicht das Risiko des Datenverlustes durch Deinstallation älterer CFturbo-Versionen



Im Bereich **Functions** links vom Diagramm sind alle verfügbaren Funktionen in einer Baumstruktur dargestellt, geordnet nach Maschinentyp.

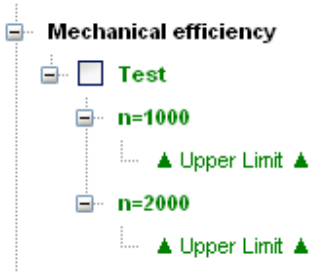
Zur Darstellung bzw. Änderung einer Funktion muss die entsprechende physikalische Größe unterhalb des dazugehörigen Maschinentyps ausgewählt werden. Im Diagramm wird die CFturbo-interne Funktion in blau angezeigt. Für jede der Größen können nun beliebig viele nutzerspezifische Funktionen hinzugefügt werden. Die in der Liste mit dem Markierungsbalken ausgewählte Funktion wird im Diagramm zusätzlich zur CFturbo-internen Funktion angezeigt. Die Funktion mit dem aktivierten Markierungsfeld vor dem Funktionsnamen wird für die entsprechenden Berechnungen im Programm verwendet. Besitzt keine Funktion ein aktiviertes Markierungsfeld oder ist gar keine

© CFturbo Software & Engineering GmbH

zusätzliche Funktion vorhanden, so wird die CFturbo-interne Funktion verwendet.

Mit diesen Schaltern oberhalb des Baumes können Funktionen hinzugefügt, entfernt oder umbenannt werden.
Alternativ kann das Kontextmenü (Rechtsklick) des entsprechenden Punktes benutzt werden.

Folgende Hierarchie existiert für die Funktionen:



physikalische Größe
nutzerspezifischen Funktion
Parameterkurve (nur bei einigen Funktionen verfügbar)
obere Grenze (optional)

Funktionen können von 2 Variablen abhängen, wobei eine als Kurvenparameter dient. Für konkrete Parameterwerte existieren jeweils separate Kurven, die zur Berechnung des Funktionswertes genutzt werden. Der Parameter wird am Endpunkt der entsprechenden Kurve im Diagramm dargestellt.

Die obere Grenzkurve dient zur Definition von Bereichen, d.h. es wird somit ein Bandbereich mit oberer und unterer Grenze als separate Kurven definiert.

Im Bereich **Points** rechts vom Diagramm können die Kurvenpunkte der jeweils mit dem Markierungsbalken ausgewählte Funktion eingegeben bzw. verändert werden. Neue Punkte können am Ende angefügt werden es erfolgt automatisch eine Sortierung in aufsteigender x-Reihenfolge. Das Entfernen eines Punktes geschieht durch Löschen des x- und/ oder y-Wertes.

Mit diesen Schaltern können

- Punkte aus einer Datei (pro Zeile ein Punkt) eingelesen werden
- Punkte in einer Datei gespeichert werden
- Punkte in die Zwischenablage kopiert werden
- Punkte aus der Zwischenablage eingefügt werden (z.B. aus Excel)
- die komplette Tabelle geleert werden

Im Bereich **Test** kann durch Eingabe eines Wertes die gerade aktive Funktion überprüft werden.

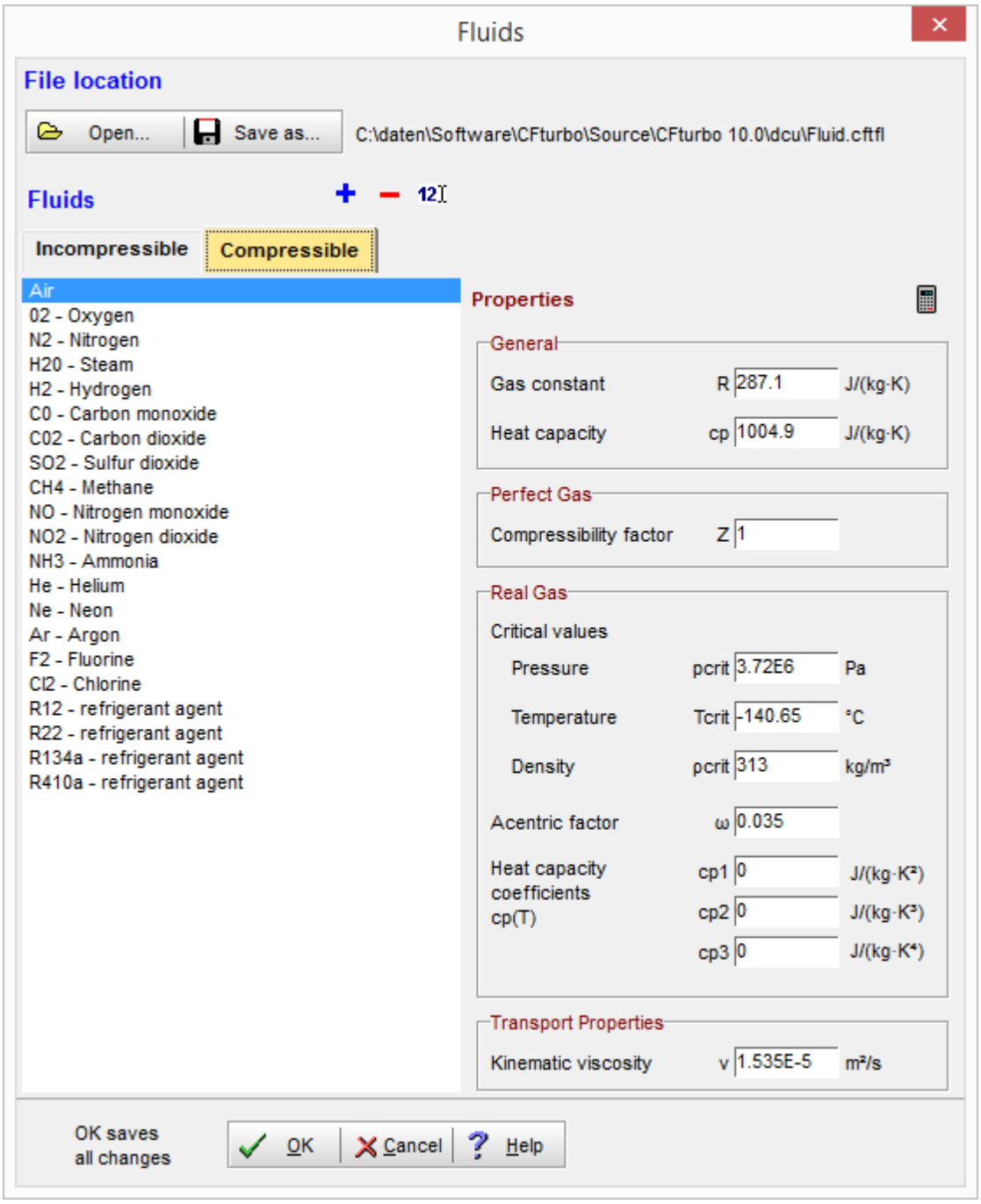
© CFturbo Software & Engineering GmbH

6.4.3 Fluids

? Preferences | Database | Fluids

Der Dialog listet die vorhandenen Fluide auf. Es können neue hinzugefügt sowie vorhandene umbenannt oder gelöscht werden.

© CFturbo Software & Engineering GmbH



Im rechten Bereich können die Fluid-Eigenschaften eingeben werden. Die Parameter variieren zwischen kompressiblen und inkompressiblen Medien.

Die Schalter zum Öffnen und Speichern von Fluid-Dateien ermöglichen die Definition von eigenen Fluid-Daten sowie den Austausch mit anderen CFturbo-Installationen.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Inkompressible Fluide [nur Pumpen, Ventilatoren]

Eine konstante Dichte ρ ist der einzige Parameter.

Kompressible Fluide [nur Verdichter, Turbinen]

In diesem Fall werden einige Parameter benötigt, die in den Modellen zur Beschreibung der Gaseigenschaften verwendet werden. Diese Parameter sind:

- Gaskonstante R
- kritischer Druck p_{crit}, Temperatur T_{crit} und Dichte ρ_{crit}
- azentrischer Faktor ω
- Spezifische Wärmekapazität c_p + Wärmekapazitätskoeffizienten c_{pi} (beide bei Druck nahe Null)
- Kompressibilitätsfaktor Z

Gegenwärtig sind die folgenden Gasmodelle implementiert. Die Modelle beschreiben Beziehungen zwischen Druck, Temperatur und Dichte (die allerdings durch ihren reziproken Wert, das spez. Volumen v, gegeben ist):

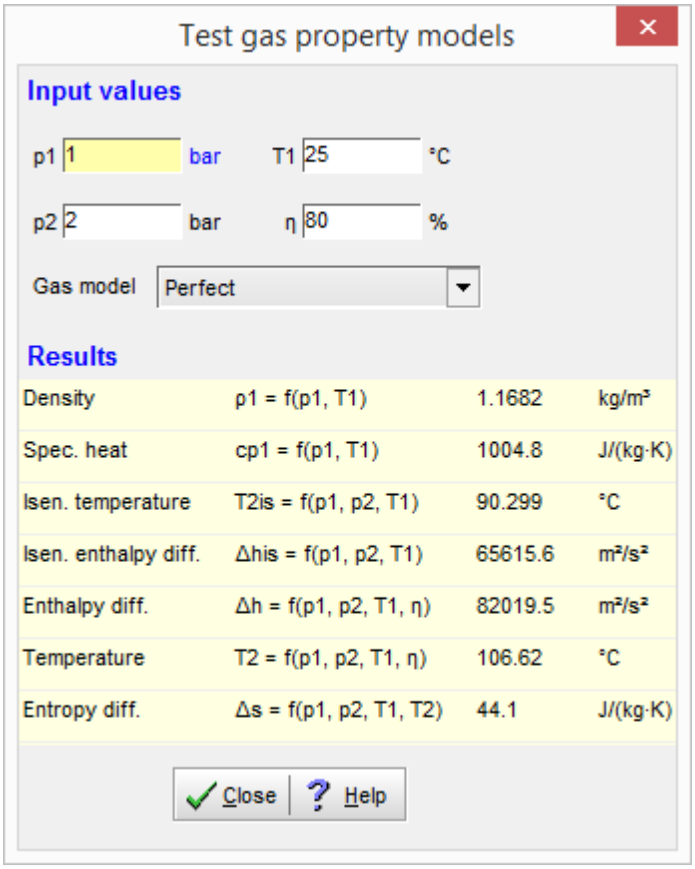
<table>
<tr><th>Gasmodell</th><th>Ansatz</th><th>Anmerkung</th><th>Literatur (erste Veröffentlichung)</th></tr>
<tr><td>Perfect Gas</td><td>$p = \frac{R \cdot T \cdot Z}{v}$</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>Redlich-Kwong</td><td rowspan="3">$p = \frac{R \cdot T}{v - b + c} - \frac{a(T)}{v(v + b)}$</td><td rowspan="4">Jeder Ansatz hat seinen eigenen Satz von Koeffizienten a, b und c.</td><td>Redlich, O., Kwong, J.N.S. [441]</td></tr>
<tr><td>Aungier/Redlich-Kwong</td><td>Aungier, R.H. [441]</td></tr>
<tr><td>Soave/Redlich-Kwong</td><td>Soave, G. [441]</td></tr>
<tr><td>Peng-Robinson</td><td></td><td>Peng, D.Y., Robinson, D.B. [442]</td></tr>
</table>

Die implementierten Modelle können anhand eigener Daten getestet werden. Diese Daten bestehen aus einem thermodynamischen Zustand 1, der durch p_1 und T_1 definiert ist. Mit Hilfe dieser Werte werden die Dichte ρ_1 und die spezifische Wärmekapazität c_p berechnet. Letztere wird mittels folgendem Ansatz bei Druck nahe Null bestimmt:

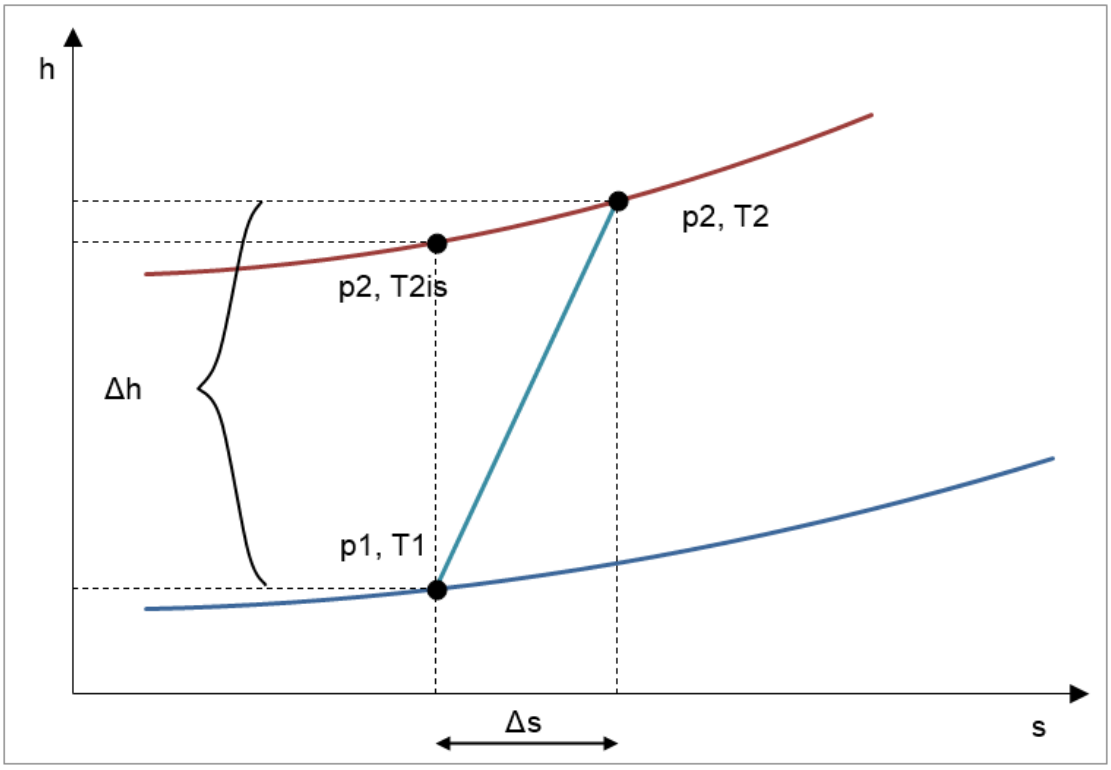
© CFturbo Software & Engineering GmbH

$$c_p(T) = \sum_{i=0}^{3} c_{pi} \cdot T^i.$$

Außerdem wird mittels Druck p_2, zu dem das Gas verdichtet oder expandiert werden soll, eine isentropische Temperatur T_{2is} berechnet. Eine zweite Temperatur T_2 wird unter der Voraussetzung bestimmt, dass das Gas vom Zustand 1 zum Druck p_2 mit einem Wirkungsgrad η verdichtet oder expandiert wird, wobei die entsprechenden Enthalpie- und Entropiedifferenzen Δh und Δs ebenfalls angegeben werden, siehe h-s-Diagramm.


Test gas property models
Input values
p1 1 bar
T1 25 °C
p2 2 bar
η 80 %
Gas model Perfect
Results
Density ρ1 = f(p1, T1) 1.1682 kg/m³
Spec. heat cp1 = f(p1, T1) 1004.8 J/(kg·K)
Isen. temperature T2is = f(p1, p2, T1) 90.299 °C
Isen. enthalpy diff. Δhis = f(p1, p2, T1) 65615.6 m²/s²
Enthalpy diff. Δh = f(p1, p2, T1, η) 82019.5 m²/s²
Temperature T2 = f(p1, p2, T1, η) 106.62 °C
Entropy diff. Δs = f(p1, p2, T1, T2) 44.1 J/(kg·K)
Close
Help

© CFturbo Software & Engineering GmbH



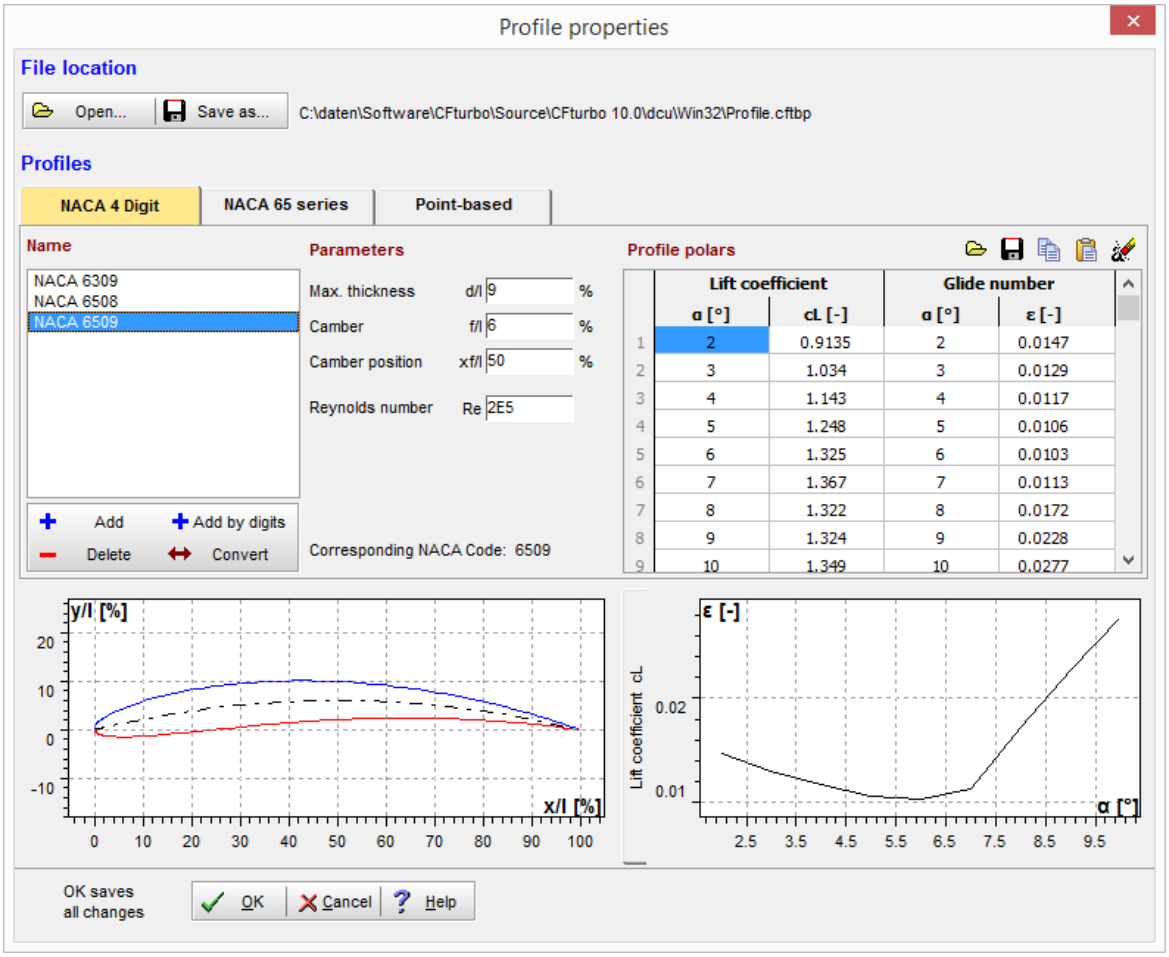
6.4.4 Profiles

? Preferences | Database | Profiles

[Axial machines only]

The dialog lists all defined profiles. New ones can be added, present profiles can be renamed or deleted.

© CFturbo Software & Engineering GmbH



In the right panels, the properties of the selected profile can be defined. The available parameter vary depending on the profile type.

The buttons for opening and saving offer the possibility of the exchange of fluid data between CFturbo installations.

NACA 4 Digit

The NACA four-digit wing sections are low cambered profiles. This family of profiles allows a separate modification of camber and thickness, which is especially advantageous for blade design.

The profile are defined by:

- First digit describing maximum camber as percentage of the chord.
- Second digit describing the distance of maximum camber from the airfoil leading edge in tens of percents of the chord.

- Last two digits describing maximum thickness of the airfoil as percent of the chord

The thickness distribution is given by:

$$\frac{y_d}{d} = \frac{1}{0.2}\left[0.2969\left(\frac{x}{l}\right)^{0.5} - 0.126\left(\frac{x}{l}\right)^{1} - 0.3516\left(\frac{x}{l}\right)^{2} + 0.2834\left(\frac{x}{l}\right)^{3} - 0.1015\left(\frac{x}{l}\right)^{4}\right]$$

The meanline consists of two parabola arcs, whose transition point is their apex, respectively. The point is defined by the the first two digits.

$$y_S = \frac{f}{l}\frac{1}{\left(\frac{x_f}{l}\right)^2}\left[2\frac{x_f}{l}\frac{x}{l} - \left(\frac{x}{l}\right)^2\right] \quad \text{if} \quad \frac{x}{l} \le \frac{x_f}{l}$$

$$y_S = \frac{f}{l}\frac{1}{\left(\frac{x_f}{l}\right)^2}\left[1 - 2\frac{x_f}{l} + 2\frac{x_f}{l}\frac{x}{l} - \left(\frac{x}{l}\right)^2\right] \quad \text{if} \quad \frac{x}{l} > \frac{x_f}{l}$$

In addition to the geometric properties lift coefficients and glide numbers need to be set with respect to the angle of attack.

NACA 65 series

The NACA 65 series is of importance for turbo-machinery because of their systematic grid studies. In contrast to NACA 4 digit, their aerodynamic data is also known for more heavy cambered profiles.

The meanline can be calculated from a theoretical lift coefficient that is calculated from a user-defined camber angle, see Carolus [439] p. 54, (Eq. 3.11, 3.12):

$$c_{fl} = \frac{2\pi}{\ln(2)} \cdot \tan\left(\frac{\varphi}{4}\right) \quad \text{mit} \quad \varphi = \beta_{B2} - \beta_{B1}$$

$$\frac{y_s}{l} = -\frac{c_{fl}}{4\pi}\left[\left(1 - \frac{x}{l}\right) \cdot \ln\left(1 - \frac{x}{l}\right) + \frac{x}{l} \cdot \ln\left(\frac{x}{l}\right)\right]$$

Nose ratio and thickness can be modified.

Point-based

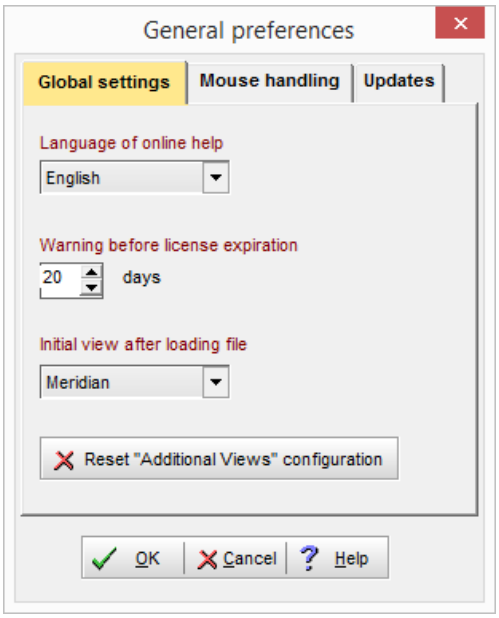
Besides NACA profiles also user-defined profiles are provided. Therefore the lower and upper side of the profile has to be known. Moreover lift coefficients and glide numbers need to be set with respect to the angle of attack.

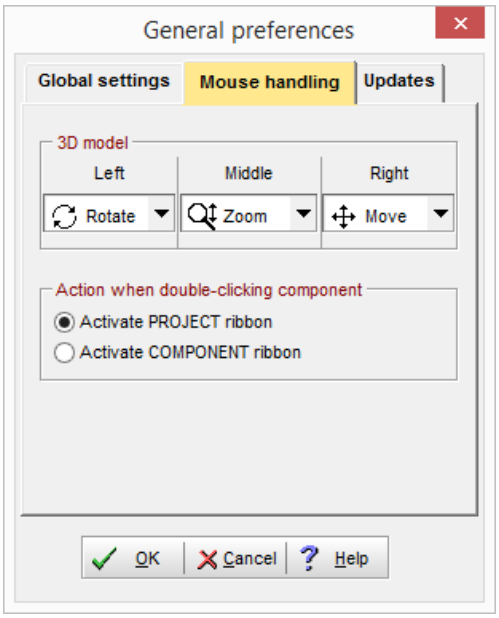
© CFturbo Software & Engineering GmbH

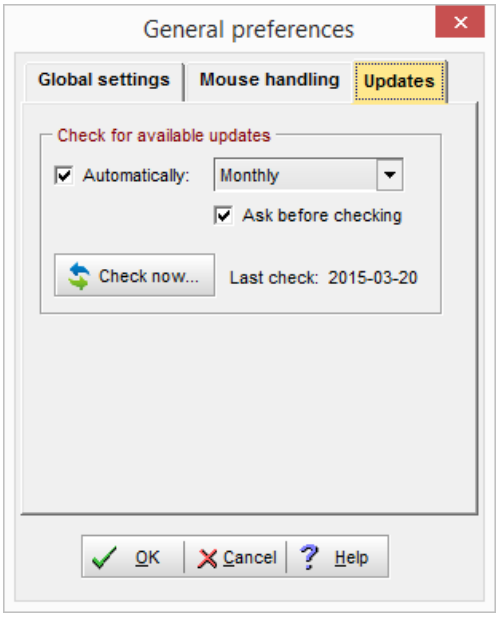
6.4.5 General

? Preferences | Settings | General

Unter **General preferences** werden die globalen Einstellungen des Programms vorgenommen.







Language of online help

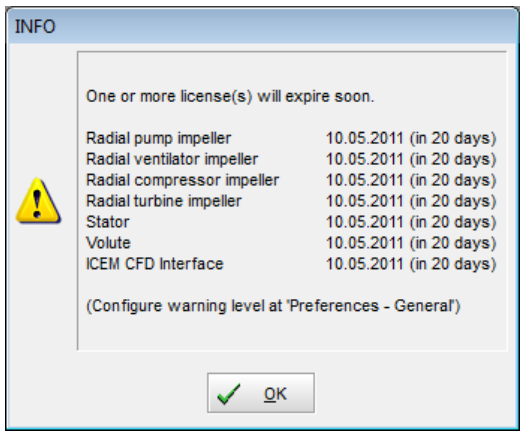
© CFturbo Software & Engineering GmbH

Hier kann eingestellt werden, in welcher Sprache die Online-Hilfe erscheinen soll. Standard ist Englisch.

Warning before license expiration

Hier kann eingestellt werden, wieviele Tage vor Ablauf der Lizenz beim Programmstart darauf hingewiesen werden soll. Standard ist 20 Tage.

Die Meldung sieht folgendermaßen aus:


INFO
One or more license(s) will expire soon.
Radial pump impeller 10.05.2011 (in 20 days)
Radial ventilator impeller 10.05.2011 (in 20 days)
Radial compressor impeller 10.05.2011 (in 20 days)
Radial turbine impeller 10.05.2011 (in 20 days)
Stator 10.05.2011 (in 20 days)
Volute 10.05.2011 (in 20 days)
ICEM CFD Interface 10.05.2011 (in 20 days)
(Configure warning level at 'Preferences - General')
OK

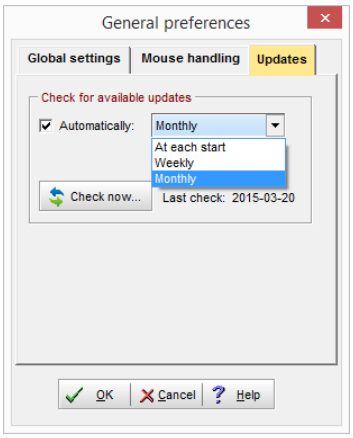
Initial view after loading file

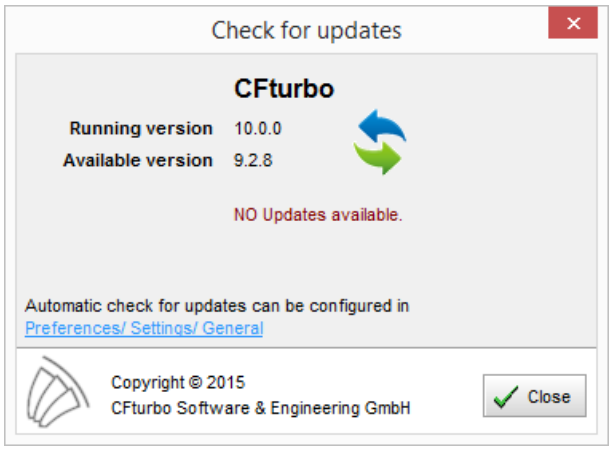
Die Einstellung legt fest, welche Ansicht nach dem Laden eines Projektes dargestellt werden soll. Die Auswahl von *3D Model* führt zu längeren Ladezeiten, da das Modell zuerst aktualisiert wird.

Check for available updates

Optional kann beim Programmstart überprüft werden, ob Updates zur Verfügung stehen. Dazu stehen 3 alternative Intervalle zur Verfügung: bei jedem Programmstart, einmal wöchentlich, einmal monatlich.

© CFturbo Software & Engineering GmbH





Über den Schalter "Check now..." kann direkt ein Update-Check ausgeführt werden (siehe Check for Updates 156). Das Datum des letzten Update-Checks wird informativ angezeigt.

Reset "Additional Views" configuration

Die Einstellungen der "Additional Views" in allen Dialogen wird gelöscht. Die Einstellungen beinhalten die Sichtbarkeit sowie Höhe und Breite der sichtbaren Elemente.

3D model mouse handling

Hier können den Maustasten (Left, Middle, Right) Funktionen (Rotate, Zoom, Move) für die Handhabung des 3D-Modells 163 zugewiesen werden.

Action when double-clicking component

Zusätzlich kann festgelegt werden, welcher Ribbon beim Doppelklick auf eine Komponente in der Komponentenliste aktiviert werden soll. Dies ermöglicht einen schnellen Wechsel zum benötigten Menü.

6.4.6 Units

? Preferences | Settings | Units

Über die Unit settings können die Einheiten gewählt werden, die zur Anzeige in CFturbo benutzt werden.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Der Dialog ist in 3 Bereiche aufgeteilt:

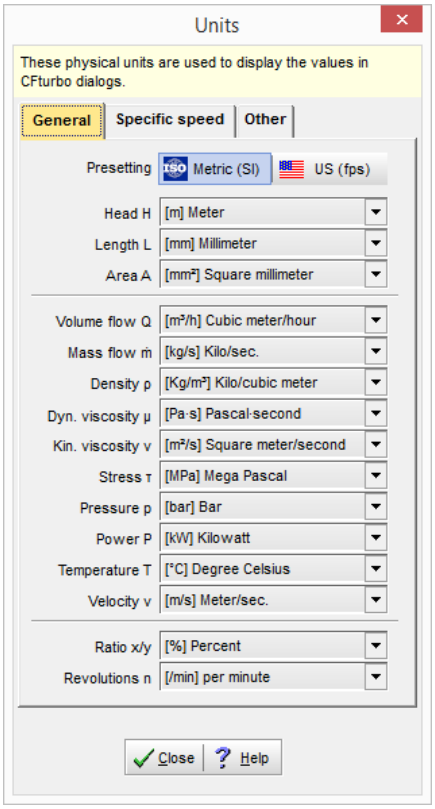
➜ General 149: allgemeine Einheiten-Auswahl

➜ Specific speed 150: Auswahl einer passenden Definition für die spezifische Drehzahl

➜ Other 151: weitere Einheiten-Einstellungen, wie Definition des Strömungs-/Schaufelwinkels und n_{ss}-Definition

6.4.6.1 General

Hier können Maßeinheiten gewählt werden, die im Programm verwendet werden. Es stehen folgende Einheiten zur Verfügung:



- Förderhöhe: m, ft
- Länge: mm, in, m
- Volumenstrom: m^3/h, m^3/min, m^3/s, ft^3/h, ft^3/s, gpm, gps
- Dichte: kg/m^3, lb/ft^3
- Spannung: MPa, PSI
- Druck: MPa, PSI, bar, Pa, mm H_20, in H_20, ft H_20
- Leistung: kW, hp
- Massestrom: kg/s, lb/s
- Temperatur: °C, K, °F
- Fläche: mm^2, m^2, in^2
- Geschwindigkeit: m/s, ft/s
- Dynamische Viskosität: Pa·s, cP
- Kinematische Vikcosität: m^2/s, ft^2/s
- Verhältnis: %, -
- Drehzahl: /min, /s

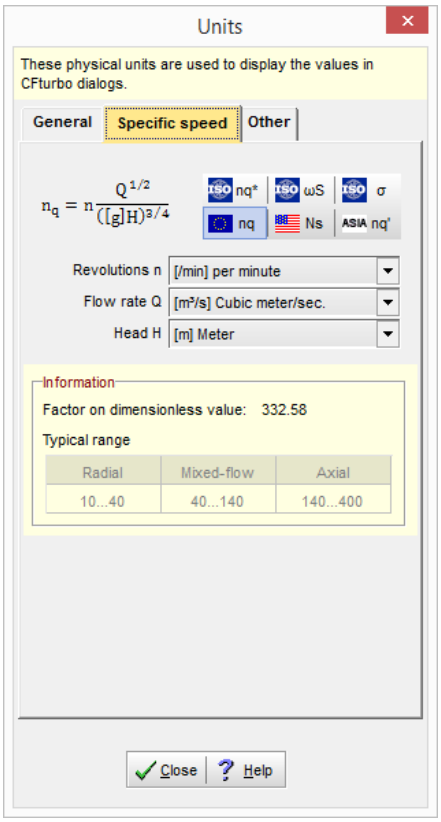
Alle Einheiten können gleichzeitig in SI- bzw. US-Einheiten geändert werden, indem man die entsprechenden Schalter oberhalb benutzt.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

6.4.6.2 Specific speed

Hier kann die Definition der spezifischen Drehzahl festgelegt werden. Diese wird hauptsächlich für die Approximation functions [135] benutzt.

Die Definitionen unterscheiden sich überwiegend in den Einheiten, die für Drehzahl, Förderstrom und Energieübertragung verwendet werden.



Folgende Definitionen sind verfügbar:

- Allgemeine spezifische Drehzahl n_q^* (dimensionslos)

$$n_q^* = n\frac{Q^{1/2}}{Y^{3/4}}$$

- Type number ω_s (dimensionslos)

$$\omega_s = n_s = 2\pi n\frac{Q^{1/2}}{Y^{3/4}}$$

- Schnelllaufzahl σ

$$\sigma = \frac{\varphi^{1/2}}{\psi^{3/4}} = 2.11\cdot n\frac{Q^{1/2}}{Y^{3/4}}$$

- Europäische Definition n_q

$$n_q = n[\min^{-1}]\frac{Q[m^3/s]^{1/2}}{H[m]^{3/4}}$$

- US Definition N_s

$$N_s = n[rpm]\frac{Q[gpm]^{1/2}}{H[ft]^{3/4}}$$

- Asiatische Definition n_q'

$$n_q = n[\min^{-1}]\frac{Q[m^3/min]^{1/2}}{H[m]^{3/4}}$$

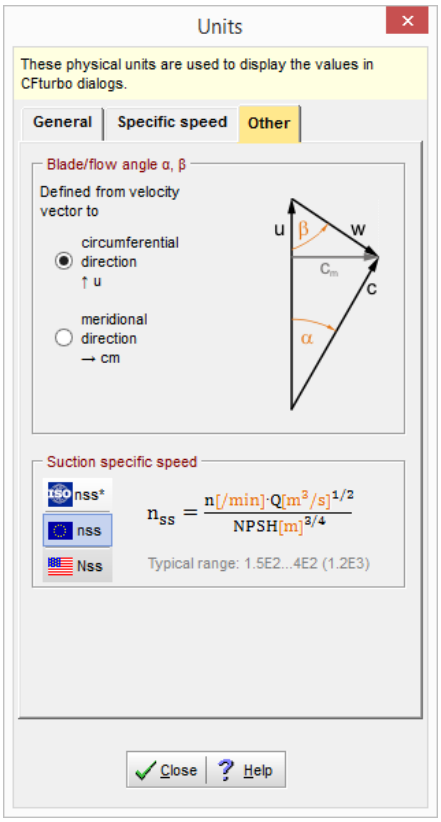
Außerdem ist es möglich, eine alternative Definition zu definieren, indem die einzelnen Einheiten für Drehzahl, Förderstrom und Energieübertragung festgelegt werden.

Im unteren Bereich sind Informationen zur derzeit gewählten Definition dargestellt. Der **Factor on dimensionless value** stellt den Faktor dar, der für die Konvertierung von der Allgemeinen spezifischen Drehzahl n_q^* in die derzeit ausgewählte verwendet wird. Außerdem ist im Bereich **Typical range** der typische Wertebereich der spezifischen Drehzahl für radiale, halbaxiale und axiale Maschinen dargestellt.

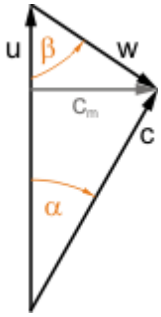
© CFturbo Software & Engineering GmbH

6.4.6.3 Other

Hier werden einige zusätzliche Einheiten-Einstellungen vorgenommen.



Blade/flow angle α, β

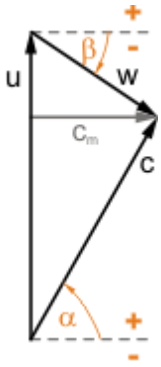


↑ u

Winkel werden gegen die Umfangsrichtung gemessen

(Innenwinkel der Geschwindigkeitsdreiecke

Erlaubter Bereich: 0° ... 180°



→ cm

Winkel werden gegen die Meridianrichtung gemessen

Erlaubter Bereich: -90° ... +90°

Suction specific speed

Es stehen 3 verschiedene Definitionen für die spezifische Saugzahl für Pumpen zur Verfügung:

- SI-Definition (dimensionslos) n_{ss}^*

$$n_{ss}^* = n\frac{Q^{1/2}}{(g \cdot NPSH)^{3/4}}$$

- Europäische Definition n_{ss}

- US-Definition N_{ss}

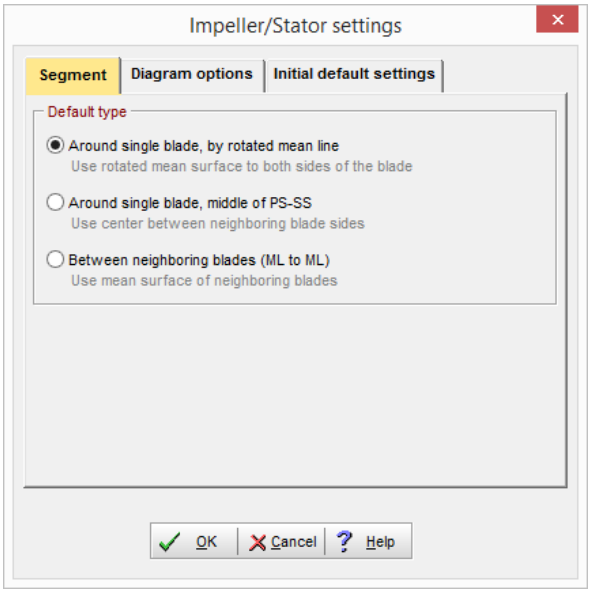
© CFturbo Software & Engineering GmbH

$$N_{ss} = n[rpm]\frac{Q[gpm]^{1/2}}{NPSH[ft]^{3/4}}$$

6.4.7 Impeller/ Stator

? Preferences | Settings | Impeller Defaults

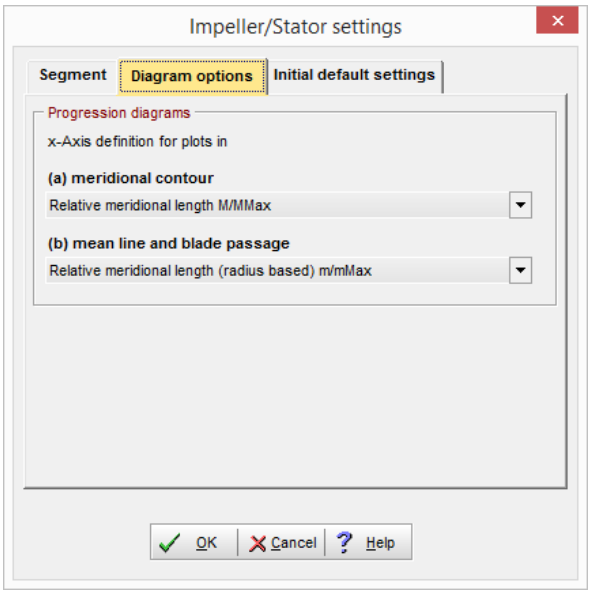
Unter **Preferences - Impeller Options** werden Grundeinstellungen für den Entwurf von Laufrädern definiert. Diese Einstellungen werden beim initialen Öffnen des jeweiligen Dialoges gesetzt.



Auf der Registerseite **Segment** wird die Standard-Position des rotationssymmetrischen Schaufelsegmentes festgelegt.

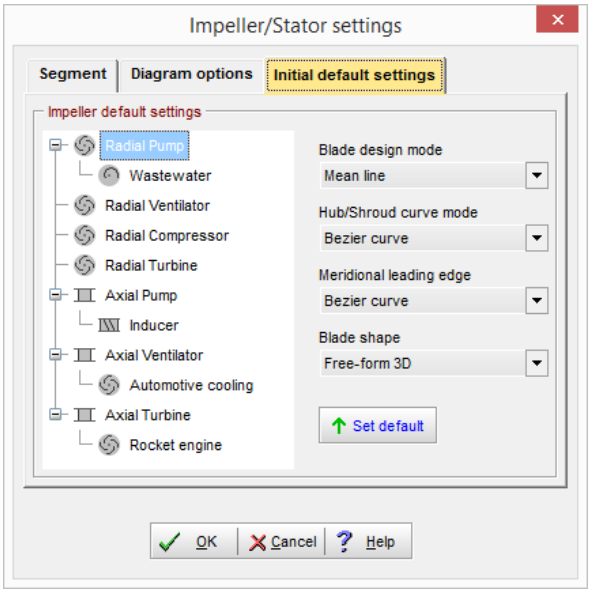
Detailierte Informationen finden Sie beim CFD-Setup 363.

© CFturbo Software & Engineering GmbH



Auf der Registerseite **Diagram option** kann festgelegt werden, über welche Größe die Verläufe im Meridian- 262 und Meanline-Dialog 312 bzw. im Querschnittsflächendiagramm 169 aufgetragen werden. Einige Geometrien können zu undefinierten x-Werten aufgrund von Referenzwerten (z.B. r_{Max}, Δz_{Max}), die Null sind, führen. Solche Konstellationen werden in den Diagrammen gekennzeichnet. Eine andere **Diagram option** sollte in diesen Fällen gewählt werden.

- abs. meridionale Länge M
- rel. meridionale Länge M/M_{Max}
- abs. radiusbezogene meridionale Länge m
- rel. radiusbezogene meridionale Länge m/m_{Max}
- abs. Radius r
- rel. Radius r/r_{Max}
- abs. axiale Länge z
- rel. axiale Lange $\Delta z/\Delta z_{Max}$



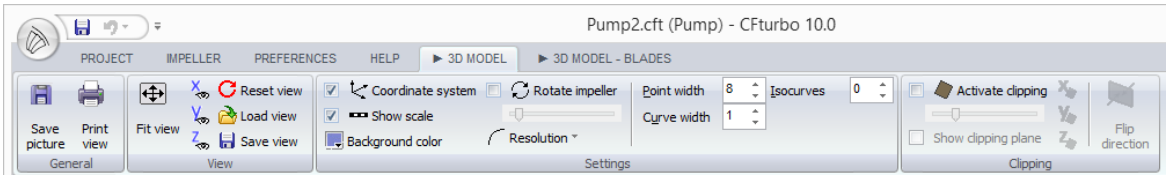
Auf der Registerseite **Initial default settings** kann festgelegt werden, welche Einstellungen beim Neuentwurf initial verwendet werden sollen. Individuelle Einstellungen können für jeden Machinentyp (Pump, Ventilator, Compressor, Turbine) selektiert werden.

Natürlich können diese Einstellungen in allen Entwurfs-Dialogen manuell geändert werden.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

6.5 3D MODEL

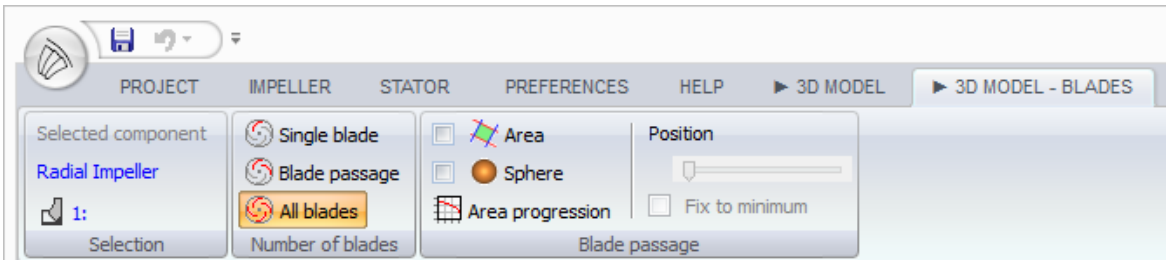
Diese Menü dient der allgemeinen Handhabung des 3D-Modells.



Eine detaillierte Beschreibung erfolgt in Ansichten/ 3D Model 163.

6.6 3D MODEL - BLADES

Dieses Menü dient der Handhabung von Geometrien mit Schaufeln (Laufräder, beschaufelte Statoren) im 3D-Modell.



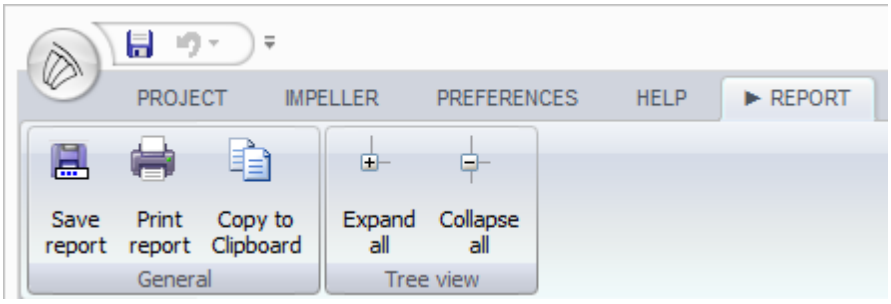
Da ein Projekt mehrere beschaufelte Geometrien enthalten kann, beziehen sich diese Einstellungen auf die Komponente, die derzeit im Modellbaum 170 der "3D Model"-Ansicht selektiert ist. Der Name der selektierten 3D-Komponente wird zur Information ganz links im Menü angezeigt.

Eine detaillierte Beschreibung erfolgt in Ansichten/ 3D Model 163.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

6.7 REPORT

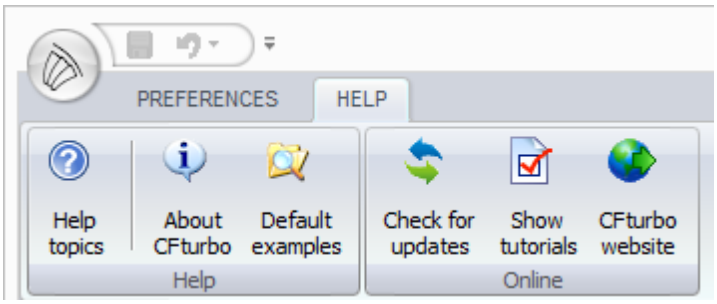
Dieses Menü dient der Handhabung des Projekt-Reports.



Eine detaillierte Beschreibung erfolgt in Ansichten/ Report 178.

6.8 HELP

Diese Menü unterstützt den Nutzer in der Bedienung des Programms.



Es stehen folgende Punkte zur Verfügung:

	Help topics	Hilfe zum Hauptfenster, Index der gesamten Hilfe
	About CFturbo	Informationen über CFturbo
	Default Examples	Ordner mit Standard-Beispielen öffnen
	Check for updates 156	Überprüfung auf vorhandene Updates
	Show tutorials	Online-Tutorials zum Umgang mit CFturbo anzeigen

© CFturbo Software & Engineering GmbH

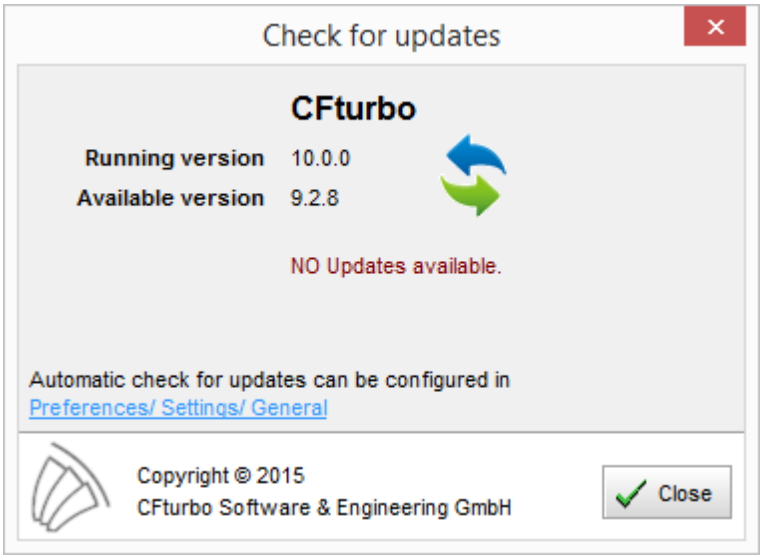
	CFturbo website	Öffnen von www.cfturbo.com im Webbrowser

6.8.1 Check for Updates

? Help | Online | Check for updates

Hier kann überprüft werden, ob auf der CFturbo-Website Updates zum Download zur Verfügung stehen. Dies betrifft vor allem die regelmäßig veröffentlichten Maintenance-Versionen 10.0.x, die vordergründig der Beseitigung von Fehlern dienen.

Angezeigt wird die derzeit installierte und die zum Download verfügbare Version. Ist eine aktualisierte Version verfügbar, wird ein Link zur Download-Seite angezeigt. Der Download-Zugang (Name + Passwort) bleibt solange gültig, wie ein laufender Wartungsvertrag vorliegt (zeitlich befristete Mietlizenzen beinhalten Wartung für den gesamten Mietzeitraum - hier ist kein gesonderter Wartungsvertrag notwendig).



Der Updatecheck kann automatisch ausgeführt werden. Dies kann unter Preferences/ Allgemeine Einstellungen 146 konfiguriert werden.

Teil VII

7 Ansichten

CFturbo bietet 3 verschiedene Ansichten zu einem Projekt. Die Ansicht kann über die 3 Schalter unterhalb der Multifunktionsleiste 61 gewechselt werden.

- Meridian 159

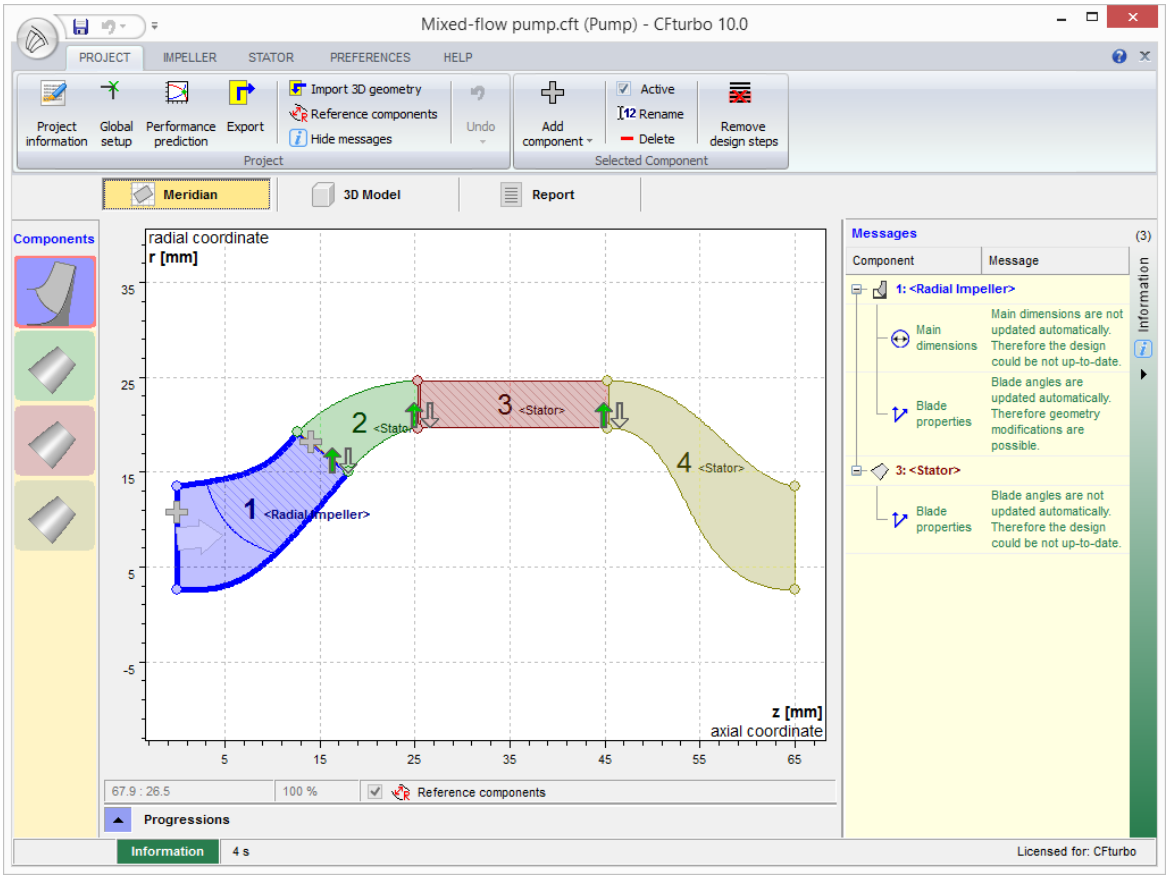
  Die Abbildung der Meridianansicht gibt einen Überblick über das Projekt und ermöglicht einen schnellen Zugriff auf die Komponenten und die dazwischen liegenden Interfaces 38.

- 3D Model 163

  Die 3D Darstellung zeigt das gesamte Projekt als dreidimensionales Modell an.

- Report 178

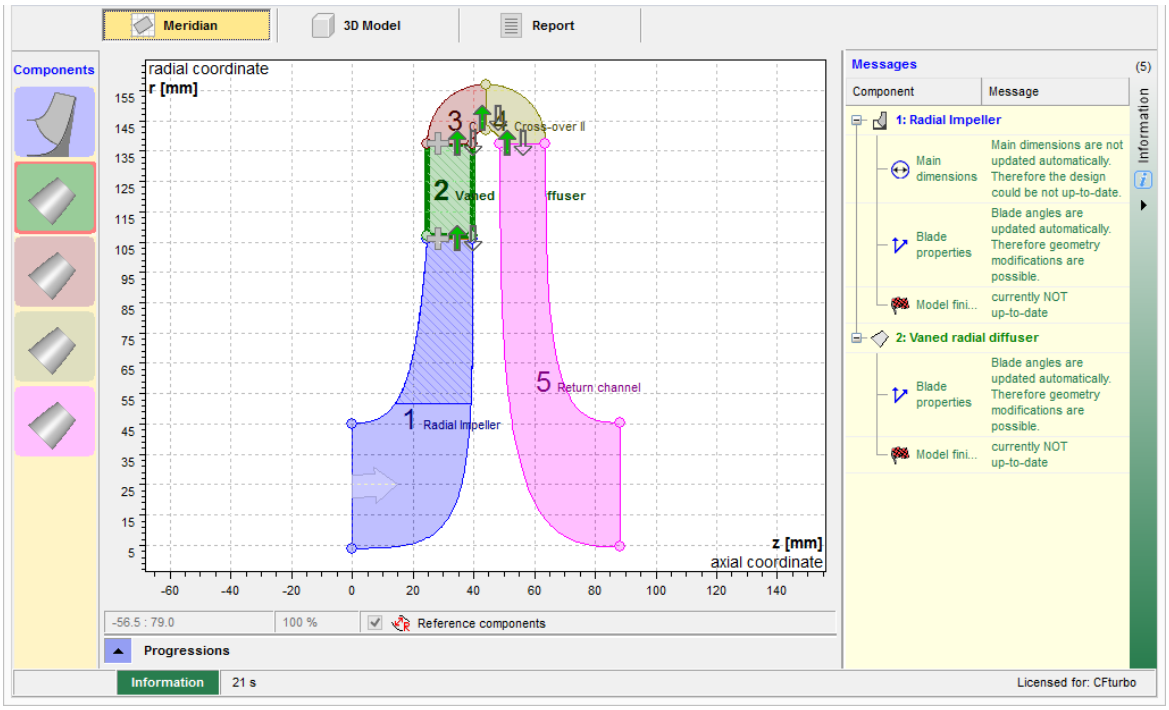
  Der Report bietet eine tabellarische Übersicht über das Projekt und die Parameter der Komponenten bis hin zu deren Designschritten.



© CFturbo Software & Engineering GmbH

7.1 Meridian

Diese Ansicht enthält im wesentlichen ein Diagramm in dem die meridionale Kontur aller Projektkomponenten dargestellt wird



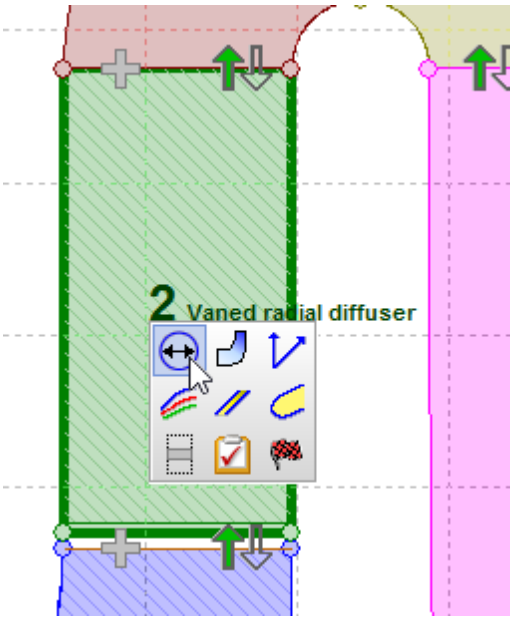
Aktive Komponenten werden in der jeweiligen Komponentenfarbe dargestellt, inaktive grau.

Meridional Diagramm

Das Diagramm stellt alle Komponenten des Projektes als zusammengesetzte Meridionalkontur dar. Große Pfeile zwischen den Komponenten zeigen die Strömungsrichtung an.
Beschriftungen mit Komponentennamen und -nummern werden ebenfalls dargestellt.

Projektkomponenten werden automatisch ausgewählt wenn die Maus sich über der entsprechenden Meridionalkontur befindet.

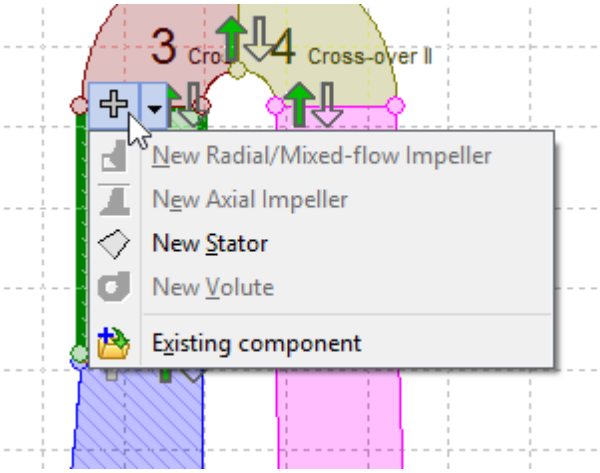
© CFturbo Software & Engineering GmbH



Komponenten-Kontextmenü

Befindet sich die Maus über der selektierten Komponente, wird automatisch das Komponenten-Menü in kompakter Form angezeigt.

Alternativ kann die entsprechende Registerkarte der Multifunktionsleiste genutzt werden (siehe IMPELLER/ STATOR/ VOLUTE 134).

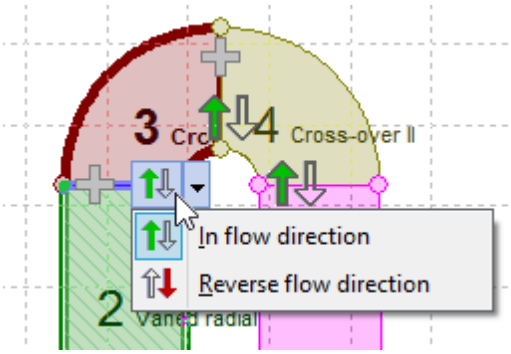


Komponenten hinzufügen

Über das ✚ Zeichen kann an dieser Stelle eine neue Komponente in das Projekt eingefügt werden.
Ein Menü zeigt die Auswahl der verfügbaren Komponenten-Typen an bzw. ermöglicht den Import einer bereits vorhandenen Komponente

Alternativ kann die Multifunktionsleiste verwendet werden (siehe Add component 130).

© CFturbo Software & Engineering GmbH

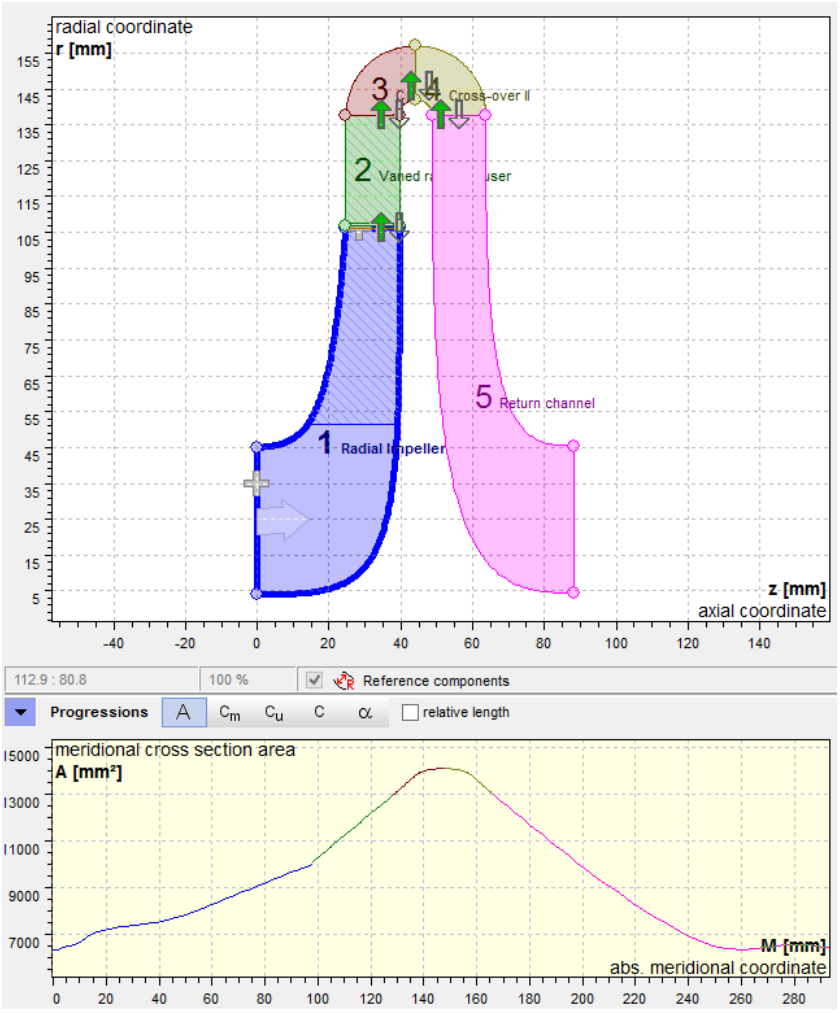


Interface-Kopplung

Zwischen den Komponenten liegen die Interfaces 38. Die aktuelle Interfacekopplung ist an den abgebildeten Kopplungssymbolen abzulesen.
Ein Menü, welches beim Überfahren des Kopplungssymbols mit der Maus aufklappt, ermöglicht die Änderung der Interface-Kopplungsrichtung.

Verlaufsdiagramm

© CFturbo Software & Engineering GmbH



Unterhalb der Meridian-Vorschau im Bereich **Progressions** können die Verläufe einiger physikalischer Größen über alle Komponenten hinweg angezeigt werden:

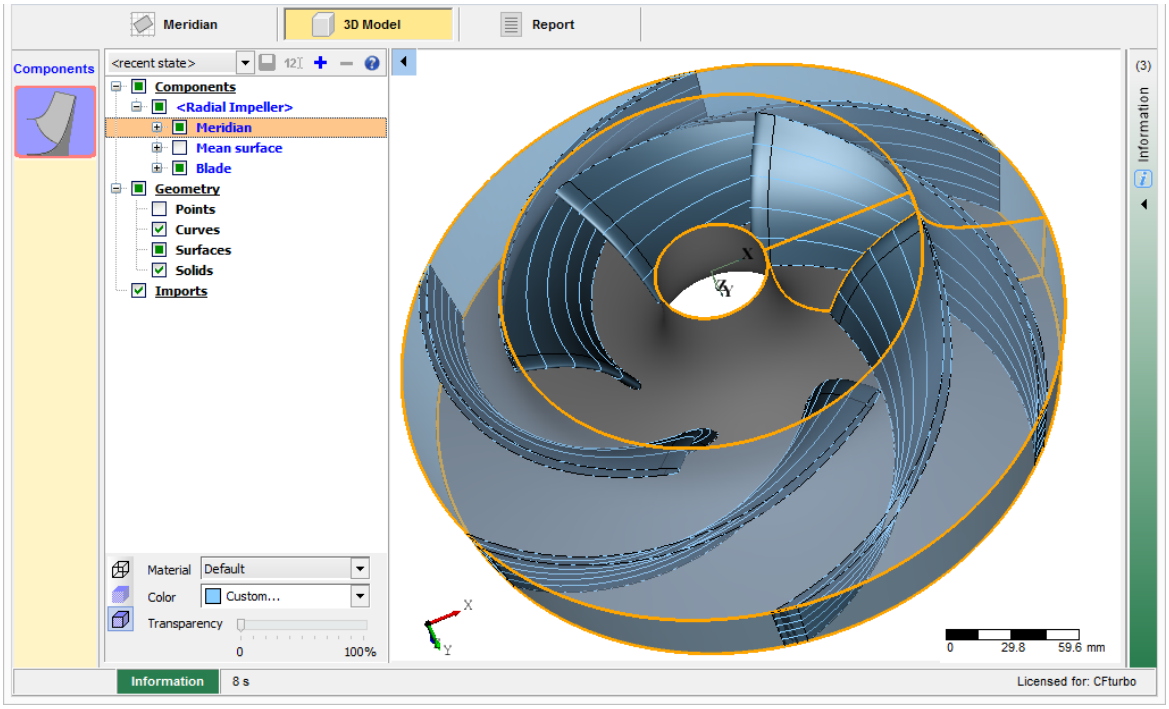
A	Querschnittsfläche
c_m	Meridiangeschwindigkeit
c_u	Umfangsgeschwindigkeit
c	Absolutgeschwindigkeit
α	Strömungswinkel

© CFturbo Software & Engineering GmbH

7.2 3D Modell

Unter **3D Model** ist im Hauptfenster ein dreidimensionales Modell des aktuellen Bearbeitungsstandes des Projektes zu sehen.

Das CAD-Modell kann als IGES, STEP oder STL exportiert werden - siehe Export 79. Dabei werden nur diejenigen Geometrieelemente berücksichtigt, die aktuell sichtbar sind.



Navigation

Die 3D-Darstellung kann mit der **Maus** beeinflusst werden:

Rotate	Drehung um den Koordinatenursprung
Zoom	↕ Zoom (auch Scrollrad) ↔ Drehung um z-Achse
Move	Verschieben

Die Zuordnung von Maustasten zu Funktionen kann unter Preferences/ General 146 definiert werden.

Menüs

Oberhalb der 3D-Darstellung befinden sich in den Menüs **3D Model** und **3D Model - Blades** Schalter, die nur der Anpassung der Darstellung dienen aber keine Auswirkungen auf das Geometriemodell haben.

➜ Modell-Darstellung (oben) 164

Modell-Baum

Links von der 3D-Darstellung befindet sich der **Modell-Baum**. Hier sind alle verfügbaren Geometrieelemente in einer Baumstruktur aufgelistet und können individuell konfiguriert werden.

➜ Modell-Baum (links) 170

3D-Preview

In vielen Entwurfsschrittdialogen kann mithilfe des **Additional views** Buttons eine 3D-Preview des gerade entworfenen Teils angezeigt werden.

Die 3D-Preview verhält sich genauso wie das oben beschriebene 3D-Modell. Die 3D-Objekte werden aber aus Performanz-Gründen lediglich mit grober Auflösung dargestellt.

siehe auch:

➜ Probleme bei der Generierung des 3D-Modells 174

➜ Öffnen/ Speichern von Entwürfen 65

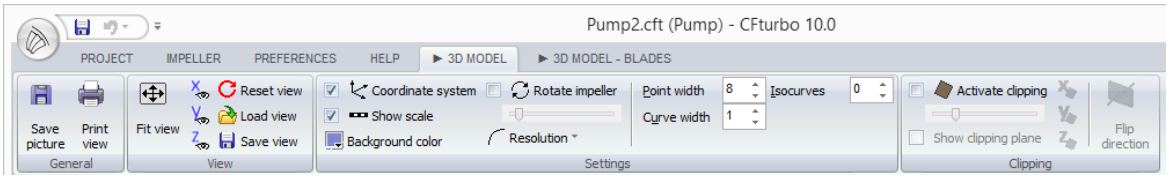
➜ Export 79

7.2.1 Modell-Darstellung (oben)

? 3D Model

Folgende Aktionen sind mittels der Schalter im Menü **3D Model** verfügbar. Sie dienen nur der Visualisierung und haben keine Auswirkungen auf das Geometriemodell.

© CFturbo Software & Engineering GmbH



General

	Darstellung speichern als PNG, JPG, GIF oder BMP
	Darstellung drucken

View

	Zoom der gesamten Geometrie in sichtbaren Bereich
	Blickrichtung in positive bzw. negative (<⇧>) x-Richtung
	Blickrichtung in positive bzw. negative (<⇧>) y-Richtung
	Blickrichtung in positive bzw. negative (<⇧>) z-Richtung
	Reset der Ansicht (Standardposition)
	Ansicht laden
	Aktuelle Ansicht speichern

Settings

	Koordinatenkreuz ein-/ausschalten
	Skala ein-/ausschalten
	Hintergrundfarbe festlegen
	Gleichmäßige Rotation des Laufrades um die z-Achse, die Geschwindigkeit kann mit dem Schieberegler beeinflusst werden

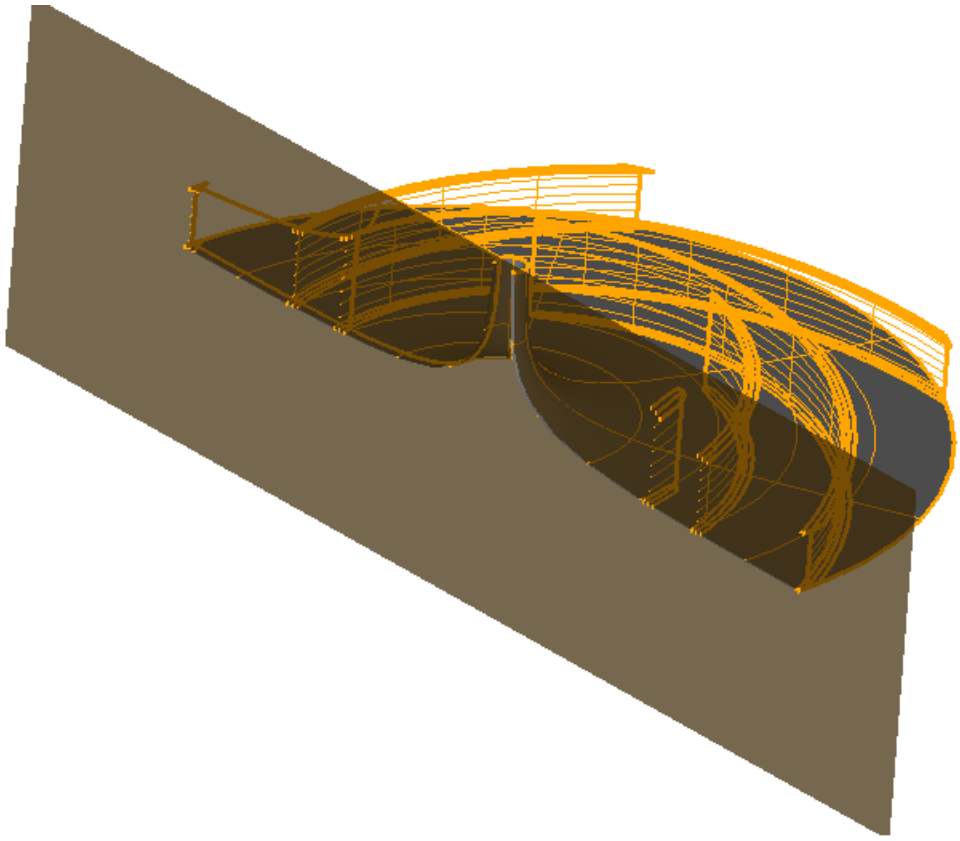
© CFturbo Software & Engineering GmbH

	Auflösung von Flächen und Kurven bestimmen (beeinflusst nur Darstellung)
	Grob
	Mittel
	Fein
	Linienstärke für Punkte Linienstärke für Kurven Anzahl der Iso-Kurven auf Flächen

Schnittebene (Clipping)

Es kann eine Schnittebene für x=konst., y=konst. oder z=konst. definiert werden und optional angezeigt werden. Die Position der Schnittebene kann über den Schieberegler gesteuert werden.

Die Richtung des Clippings (sichtbare Seite) kann umgeschaltet werden.

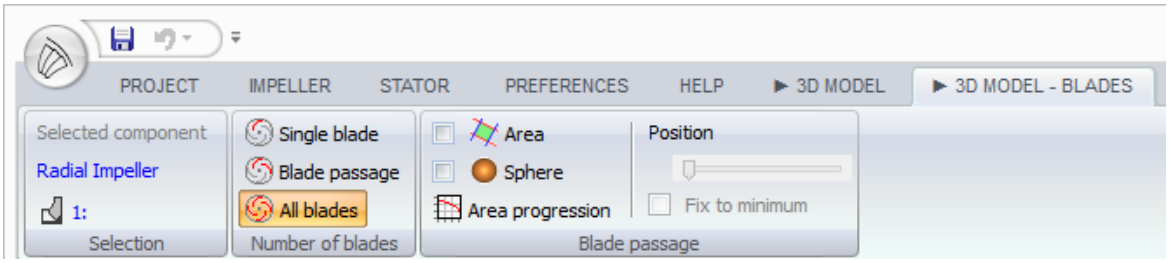


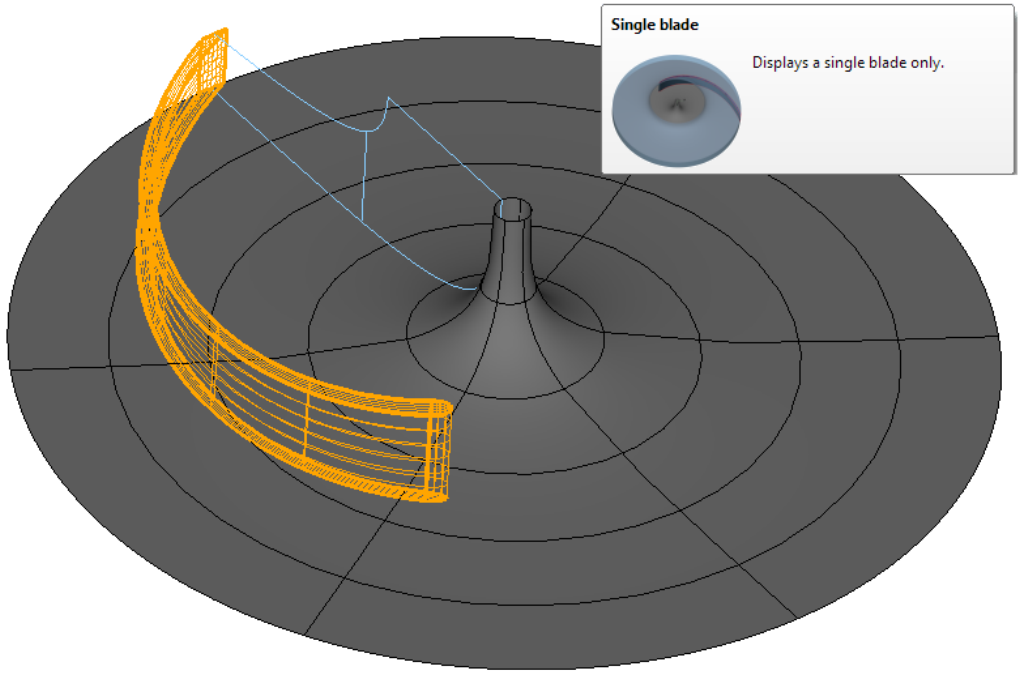
? 3D Model - Blades

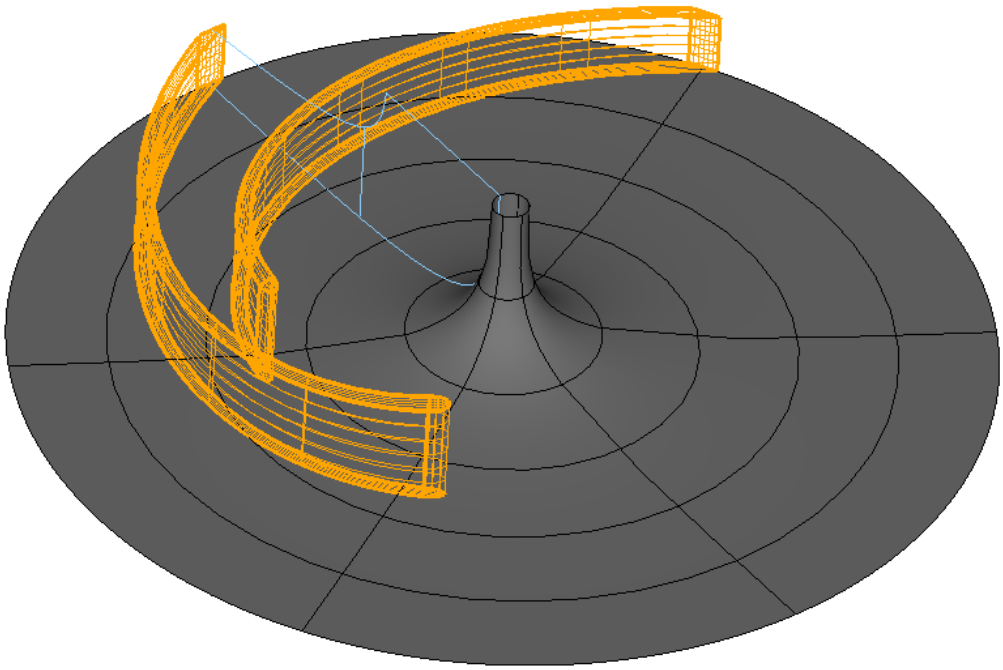
© CFturbo Software & Engineering GmbH

Folgende Aktionen sind mittels der Schalter im Menü **3D Model - Blades** verfügbar. Sie dienen nur der Visualisierung und haben keine Auswirkungen auf das Geometriemodell.

Bitte beachten: Die folgenden Optionen beziehen sich auf die derzeit selektierte Komponente im Projekt.



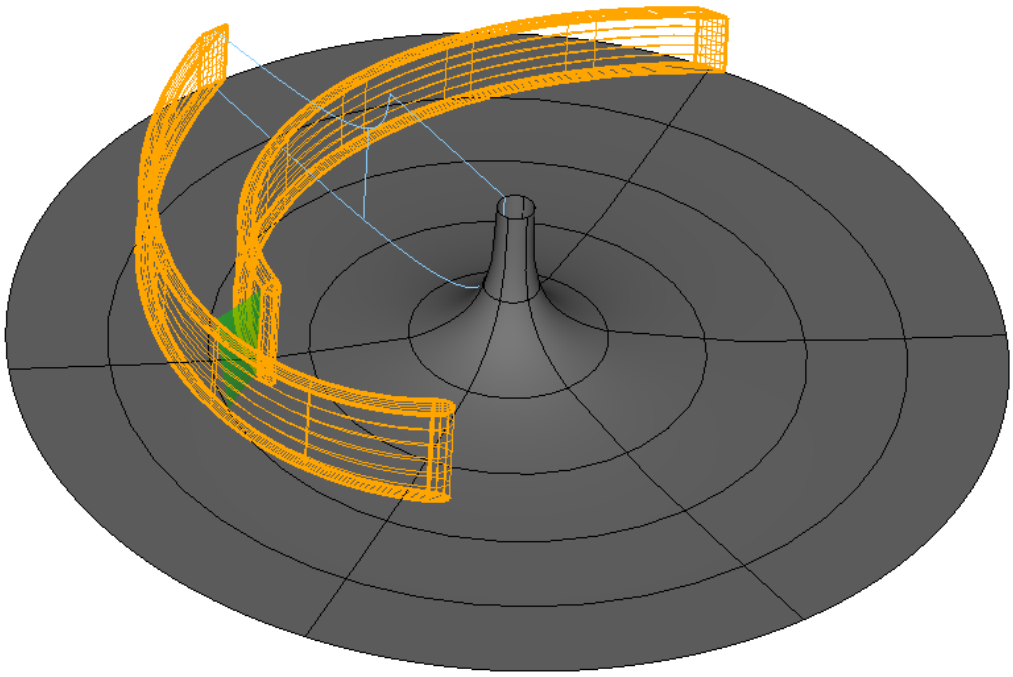
	Nur eine Schaufel anzeigen 
	Schaufelkanal Es wird ein kompletter Schaufelkanal angezeigt, der durch 2 benachbarte Schaufeln begrenzt wird.



Alle Schaufeln

Es werden alle Schaufeln des selektierten Laufrades oder beschaufelten Stators dargestellt.

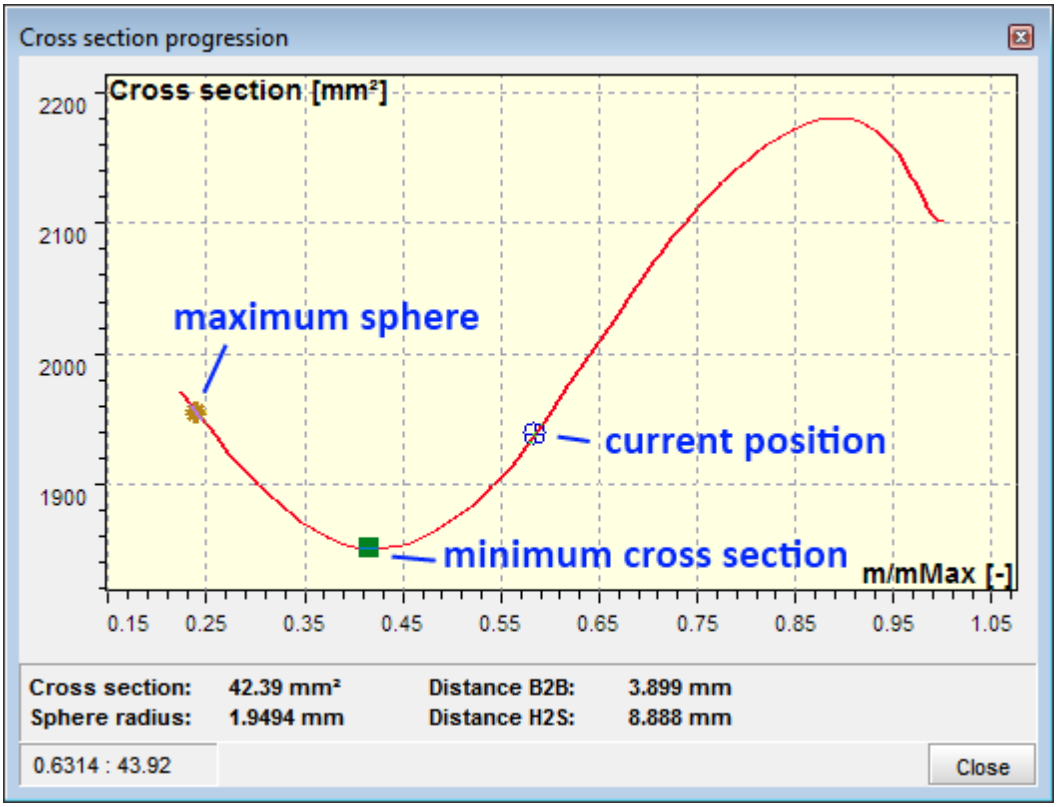
Querschnittsfläche



© CFturbo Software & Engineering GmbH

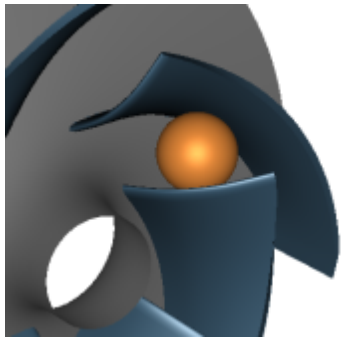
Es kann der Querschnitt des Strömungskanals der aktuell ausgewählten Komponente dargestellt werden (annähernd senkrecht durchflossene Fläche zwischen Trag- und Deckscheibe sowie zwischen zwei benachbarten Schaufeln). Die Position dieser Fläche kann optional an der Stelle des engsten Querschnitts fixiert werden (**Fix to minimum**). Anderenfalls kann sie mit dem Schieberegler **Section Position** an jede Stelle im überdeckenden Schaufelbereich gebracht werden.

Durch die Betätigung des Schalters **Show progression** wird ein Fenster geöffnet, in dem die Größe der Querschnittsfläche in Abhängigkeit von der Position (siehe hier 152 für die Einstellung der Positionsvariable) zwischen Vorderkante und Hinterkante abgebildet wird. Die aktuelle Position sowie die des kleinsten Querschnitts und des größtmöglichen Kugeldurchmessers sind mit Symbolen gesondert gekennzeichnet. Im unteren Teil des Fensters werden einige Maße zur aktuellen Position angezeigt.



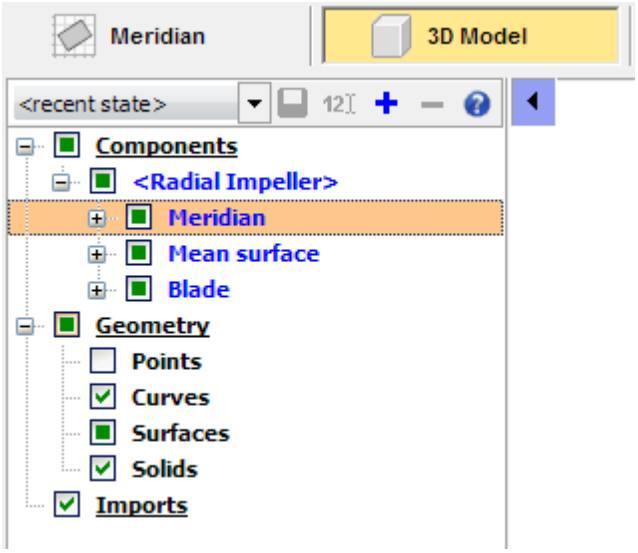
Kugel

Die Kugel veranschaulicht das Partikel mit dem größtmöglichen Durchmesser, das durch den Schaufelkanal transportiert werden kann (Kugeldurchgang).



© CFturbo Software & Engineering GmbH

7.2.2 Modell-Baum (links)



Der Modell-Baum enthält alle verfügbaren Geometrieelemente, wobei deren Sichtbarkeit wahlweise ein- oder ausgeschaltet werden kann. Alle sichtbaren Elemente werden exportiert, wenn das Modell als IGES, STEP, STL oder BREP gespeichert wird - siehe Export 79.

Tooltips: Wenn der Mauszeiger über einem Element des Modell-Baums verweilt, werden geometrische Parameter des Elements angezeigt: Volumen (bei Solids), Flächeninhalt (bei Flächen) und Länge (bei Kurven).

Struktur des Modellbaums

Der Modellbaum hat 3 Hauptabschnitte:

1) Abschnitt **Components**

beinhaltet alle Komponenten des Projektes.
Sie besitzen folgende Unterelemente:

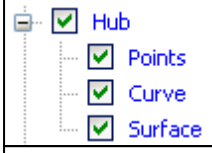
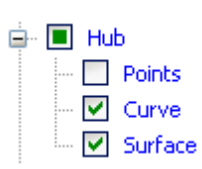
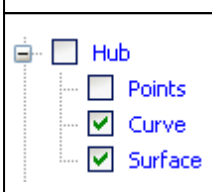
Laufrad / Stator	Spiralgehäuse
Meridian	Spirale
Skelettfläche (Mean surface)	Diffusor
Schaufel (Blade)	Zunge (Cut-water)
CFD Setup 359	CFD Setup 434

Wenn ein Element Unterelemente enthält, kann es durch Klicken auf das entsprechende Symbol ( ) aufgeklappt werden.

Jedes Einzelelement ohne weitere Unterelemente kann selektiert (☑) oder nicht selektiert (☐) sein.

Jedes Einzelelement mit weiteren Unterelementen kann 3 Zustände haben:

© CFturbo Software & Engineering GmbH

	Das Element und alle Unterelemente sind selektiert.
	Das Element und nicht alle Unterelemente sind selektiert.
	Das Element ist nicht selektiert. Unterelemente können selektiert sein.

Ein Element ist in der **3D-Darstellung sichtbar**, wenn es selektiert ist und **alle übergeordneten Elemente auch selektiert** sind.

Hinweis: Wenn beim Selektieren eines Elements die <Strg>-Taste gedrückt wird, werden auch alle Unterelemente selektiert!

2) Abschnitt **Geometry**

listet alle grundlegenden Geometrietypen auf:

- Punkte
- Kurven
- Flächen
- Volumenkörper (Solids)

Dadurch ist es möglich:

- *alle* Objekte eines Geometrietyps im Baum zu selektieren. In der 3D-Darstellung werden dann die Elemente sichtbar, deren übergeordnete Elemente auch selektiert sind.
- die Darstellungseigenschaften aller *momentan sichtbaren* Objekte eines Geometrietyps zu ändern.

3) Abschnitt **Imports**

beinhaltet eine Auflistung aller importierten Bauteile (siehe unten). Dazu gehören die Bauteile aus CFturbo Referenzprojekten 125 oder einfache 3D Geometrie Importe 125.

Sichtbarkeits- und Darstellungseigenschaften für importierte Bauteile können genauso geändert

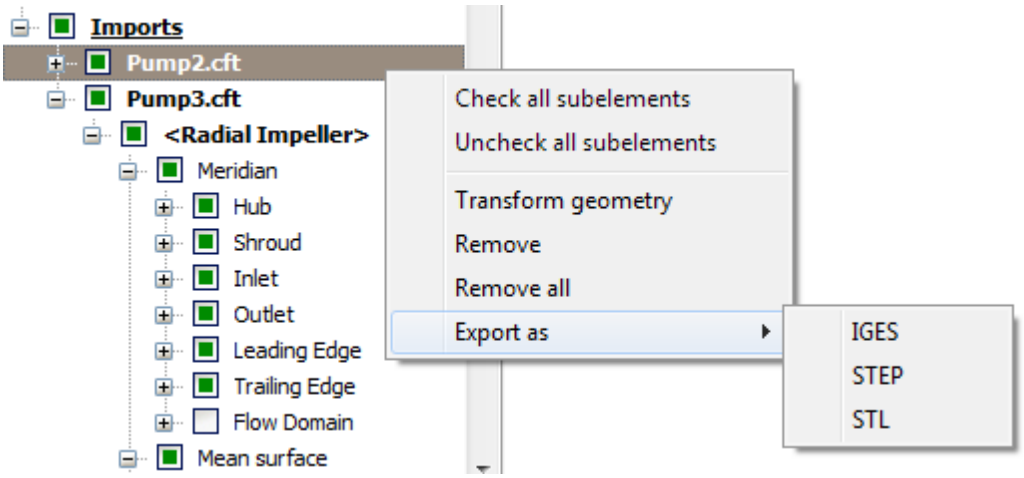
© CFturbo Software & Engineering GmbH

werden wie für Bauteile aus dem Abschnitt *Components*.

Ein Rechtsklick auf Einträge im Abschnitt *Imports* öffnet ein Kontextmenü mit folgenden zusätzlichen Optionen:

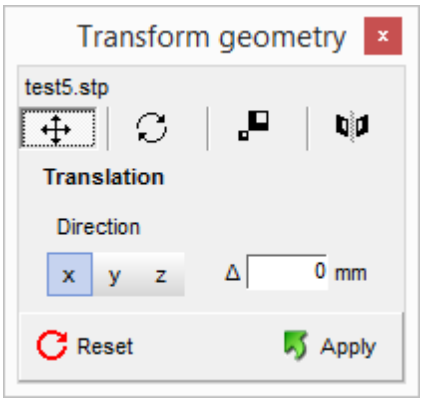
- Transform geometry - transformiert die importierte Geometrie via Nutzereingabe.

- Remove - entfernt den gewählten Eintrag aus dem Modellbaum und der 3D Ansicht.
- Remove all - entfernt alle importierten Modelle aus dem Modellbaum und der 3D Ansicht.
- Export as - exportiert die gewählte Geometrie samt ihres Transformationsstatus. (*Diese Option ist für STL-Importe nicht verfügbar.*)



Die Option *Transform geometry* dient dazu importierte geometrische Modelle so auszurichten dass ein visueller Vergleich zur Projektgeometrie bequem und akkurat möglich ist. Zu diesem Zweck is es möglich eine beliebige Menge einfacher Transformationen auf eine importierte Geometrie anzuwenden. Dazu dient der Dialog, der sich bei Auswahl der *Transform geometry* - Option öffnet.

© CFturbo Software & Engineering GmbH



Der *Transform geometry* - Dialog bietet vier verschiedene geometrische Transformationstypen an, die man mit Klick auf die entsprechenden Symbole (von links nach rechts: Translation, Rotation, gleichförmige Skalierung, Spiegelung) auswählt.

Translationen können beliebig oft (iterativ) entlang der Koordinatenachsen angewendet werden.

Rotationen können ebenfalls iterativ, um Koordinatenachsen, angewendet werden.

Die Skalierung wird als absoluter Prozentwert festgelegt.

Spiegelungen können separat für die Modellkoordinatenachsen eingeschaltet werden.

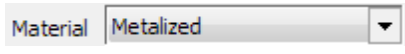
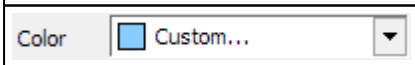
Um eine Transformation auf die gewählte Geometrie anzuwenden, wählt man den Transformationstyp, dann setzt man die Parameter und klickt den *Apply* Knopf (alternativ Enter).

Die Modelltransformation kann auf den Ausgangswert zurückgesetzt (*Reset*) werden, mit dem das Modell geladen wurde.

Nützliche Transformationen für ein importiertes Modell können gesichert werden, indem man via Kontextmenü (-->Export as) das Modell samt aktuellem Transformationsstatus exportiert (siehe oben).

Darstellungseigenschaften

Die im Modell-Baum selektierten Elemente werden in der 3D-Darstellung farblich hervorgehoben. Unterhalb des Modell-Baums können folgende Einstellungen vorgenommen werden:

	Drahtgitter-Darstellung (Wireframe)
	Flächen-Darstellung (Shaded)
	Flächen-Darstellung mit Kanten bzw. Isokurven(Shaded and Wireframe)
	Material
	Farbe ("Undefined" => Standard-Farbe des Materials)

© CFturbo Software & Engineering GmbH

	Transparenz

Mittels der <Esc>-Taste kann die Auswahl aufgehoben werden.

Modellzustände

Modellzustände ("model states") enthalten die Eigenschaften aller Baum-Elemente. Unterschiedliche Modellzustände können mithilfe der Bedienelemente oberhalb des Modell-Baums verwaltet werden.

	Auswahl des aktiven Modellzustands
	Speichern des ausgewählten Modellzustands
	Umbenennen des ausgewählten Modellzustands
	Hinzufügen eines neuen Modellzustands
	Löschen des ausgewählten Modelzustands

Folgende *vordefinierte Modellzustände* können nicht modifiziert werden:

- "Default" Standard-Modellzustand
- "Default + CFD Setup" Standard-Modellzustand mit sichtbarem CFD Setup
- "Solids only" Nur Solids werden sichtbar gemacht
- "Component colors" Jede Komponente wird entsprechend der in der Komponentenansicht 159 definierten Farbe dargestellt

Aus Performanzgründen enthalten Modellzustände nicht den Zustand jedes einzelnen 3D-Objekts, sondern nur bis zur Ebene der Unterscheidung von verschiedenen Geometrietypen (Points, Curves, Surfaces). Daher haben z.B. alle Kurven, die zu einem "Curves"-Objekt gehören, die gleichen Eigenschaften.

7.2.3 Probleme bei der Generierung des 3D-Modells

Hinweise auf 3D-Fehler

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Falls es bei der Erzeugung von Geometrien zu Fehlern kommt, wird das entsprechende Geometrieelement im Modell-Baum rot gekennzeichnet.

Außerdem wird im Nachrichtenbereich 54 eine entsprechende Fehlermeldung angezeigt.

Mögliche Warnungen

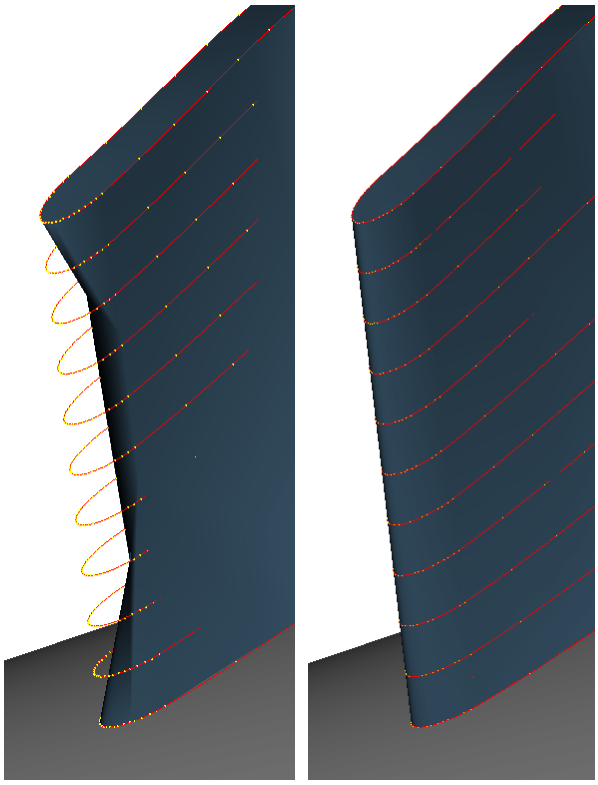
Problem	Lösungsmöglichkeiten
3D-Error: Could not create solid ...	
Abstands-Toleranz zu klein oder zu groß	Abstands-Toleranz ändern (siehe *Distance tolerance* unter Modell-Einstellungen 368)
Punktedichte ungünstig (selten).	Punktedichte für das 3D-Modell ändern (siehe *3D-Model* | *Data Points* unter Modell-Einstellungen 368)

Beseitigung von Fehlern bei der Flächenerzeugung

Zur Beseitigung von Fehlern bei der Flächenerzeugung existieren folgende Möglichkeiten:

- Wahl einer anderen Punktedichte für das 3D-Modell (siehe Laufrad 368 oder Spirale 435)
- Wahl einer anderen Auflösung (siehe Modell-Darstellung (oben) 164)

© CFturbo Software & Engineering GmbH



Die Bilder illustrieren den möglichen Einfluß der Punktdichte auf die Flächenerzeugung für die Schaufel.

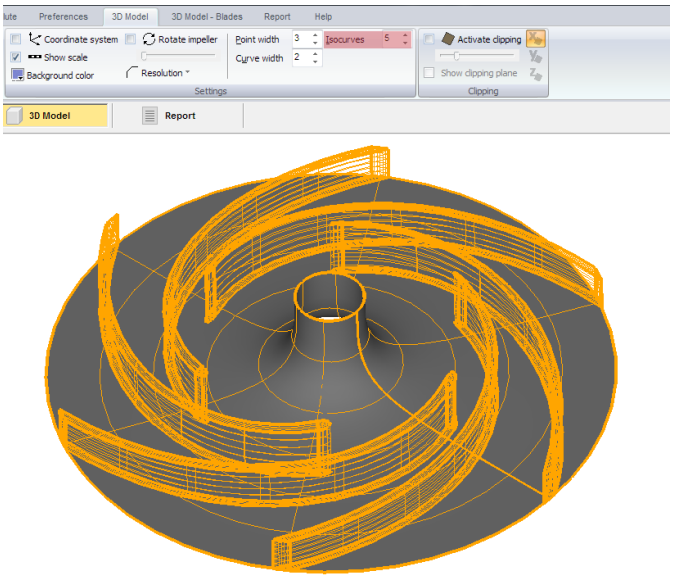
Fehler bei der Flächendarstellung

Es kann vorkommen, dass eine Fläche nicht dargestellt werden kann, obwohl sie vorhanden ist.

In einem solchen Fall kann der Flächenverlauf sichtbar gemacht werden, indem die Fläche im Modell-Baum markiert und die Anzahl der Iso-Kurven (siehe Modell-Darstellung (oben) 164) erhöht wird.

In der Regel kann dieses Problem durch die Wahl einer anderen Auflösung (siehe Modell-Darstellung (oben) 164) behoben werden.

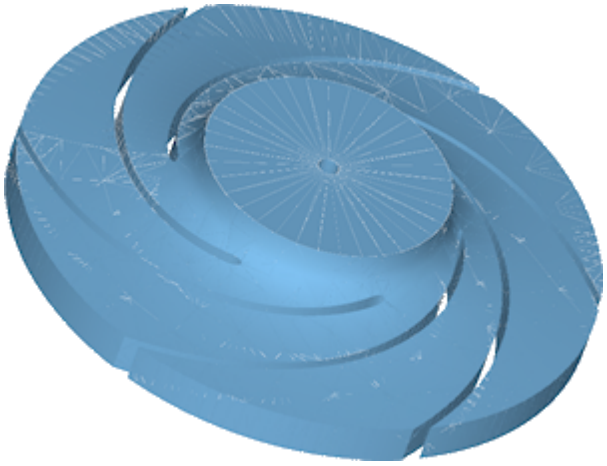
© CFturbo Software & Engineering GmbH



Die orange hervorgehobenen Iso-Kurven zeigen den Flächenverlauf.

Langsames 3D-Modell

Läßt sich das 3D-Modell nur sehr langsam bewegen, hilft in der Regel eine Aktualisierung des Grafikkarten-Treibers.



Treten Probleme mit der Grafikkarte auf, wird das manchmal durch ein unregelmäßiges Netz auf der Oberfläche der Solids deutlich.

Visualisierungsfehler

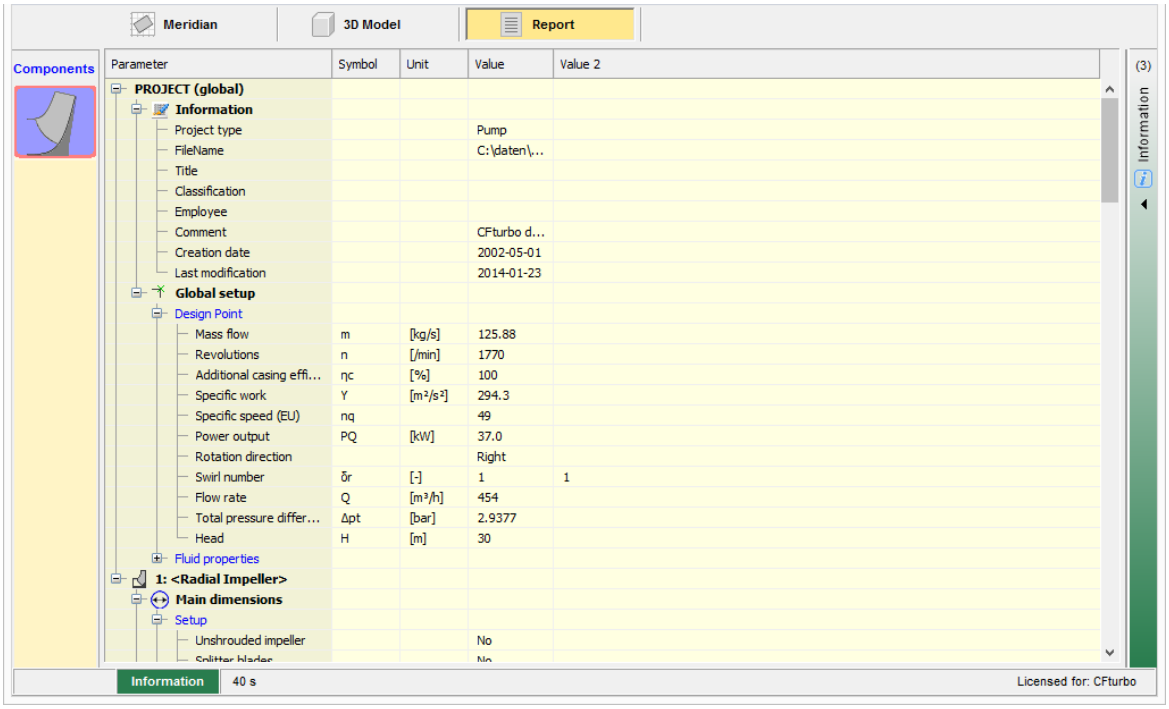
Darstellungsfehler und Artefakte können oft durch eine Aktualisierung des Treibers der Grafikkarte behoben werden.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

7.3 Report

Im Report werden die wichtigsten Parameter des Entwurfs tabellarisch dargestellt.

Unterhalb des Projektes werden die Projektinformationen, die Parameter des Global Setup und anschließend die Komponenten mit ihren Designschritten dargestellt. Einzelne Bereich können auf- und zugeklappt werden.



Die Schalter der Multifunktionsleiste auf dem Register **Report** haben folgende Funktion:

	Speichern des Reports als HTML, RTF, CSV oder TXT
	Drucken des Reports
	Kopieren der Daten in die Zwischenablage Es werden die markierten Zeilen kopiert. Ist nichts markiert, wir alles kopiert. Markieren ist per Maus möglich, <Strg> <A> markiert alles. Die Daten werden in MS Word/Excel als Tabelle eingefügt.
	Aufklappen aller Knoten
	Zuklappen aller Knoten

Teil VIII

8 Laufrad

? Impeller

Dieses Kapitel beschreibt detailliert den Entwurfsprozess für alle von CFturbo unterstützten Laufradkomponenten.

Die inhaltliche Gliederung entspricht im wesentlichen der Abfolge der Entwurfsschritte die während des Laufradentwurfs durchlaufen werden.

Entwurfsschritte

- Hauptabmessungen 181
- Meridianschnittkontur 262
- Schaufeleigenschaften 287
- Schaufelskelettlinien 312
- Schaufelprofile 330
- Schaufelkanten 336
- Modell-Fertigstellung 370
- Modell-Einstellungen 368
- CFD Setup 359

Mögliche Warnungen

Problem	Lösungsmöglichkeiten
The selected impeller shape (radial/ axial) is not matching with the specific speed.	
Die Laufradform (radiales/ halbaxiales oder axiales Laufrad) passt nicht zum spezifizierten Auslegungspunkt 67. Diese Warnung wird generiert für	Passende Laufradform auswählen, die zur spezifischen Drehzahl passt, die im Global Setup 67 berechnet wurde: • radiale/ halbaxiale Laufräder: nq ≈10 … 160

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Problem	Lösungsmöglichkeiten
• radiale/ halbaxiale Laufräder mit einer spzifischen Drehzahl nq > 160 • axiale Laufräder mit einer spzifischen Drehzahl nq < 80	• axiale Laufräder: nq ≈ 80 ... 400

8.1 Hauptabmessungen

? Impeller | Main dimensions

Der Menüpunkt **Main Dimensions** dient der Festlegung der Hauptabmessungen des Laufrades.

Details nach Maschinentyp

- Pumpe/Ventilator 182
- Verdichter 219
- Turbine 234

Mögliche Warnungen

Problem	Lösungsmöglichkeiten
Main dimensions are updated automatically. Therefore geometry modifications are possible.	
Hauptabmessungen werden automatisch aktualisiert sobald Input-Parameter verändert werden.	Um die Hauptabmessungen zu fixieren kann die automatische Berechnung ("Automatic") deaktiviert werden. In diesem Fall muss die Neuberechnung der Hauptabmessungen bei Bedarf manuell erfolgen.
Main dimensions are not updated automatically. Therefore the design could be not up-to-date.	
Hauptabmessungen werden nicht automatisch	Um sicherzustellen, dass alle Änderungen von

© CFturbo Software & Engineering GmbH

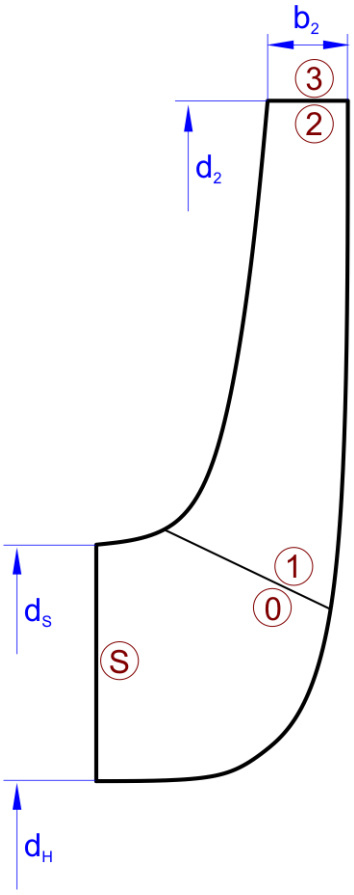
Problem	Lösungsmöglichkeiten
aktualisiert sobald Input-Parameter verändert werden.	Input-Parametern berücksichtigt werden, kann die automatische Berechnung ("Automatic") aktiviert werden.
Hub inlet and outlet diameter seem to be in a wrong proportion.	
Der potentiell kleinste Tragscheibendurchmesser am Austritt (d_2-b_2) könnte kleiner als der Tragscheibendurchmesser am Eintritt d_H sein.	Erhöhung des Laufraddurchmessers d_2 oder Verringerung der Laufradbreite b_2 oder Verringerung des Nabendurchmessers d_H.
Shroud inlet and outlet diameter seem to be in a wrong proportion.	
Der potentiell größte Deckscheibendurchmesser am Austritt (d_2+b_2) könnte kleiner als der Deckscheibendurchmesser am Eintritt d_S sein.	Erhöhung des Laufraddurchmessers d_2 oder Verringerung der Laufradbreite b_2 oder Verringerung des Saugmunddurchmessers d_S.
Specific speed of impeller is invalid.	
Die spezifische Drehzahl nq des Laufrades ist viel zu niedrig oder zu hoch.	Check design point 67 and power partitioning between impellers.
The selected impeller shape (radial/ axial) is not matching with the specific speed.	
Die spezifische Drehzahl nq des Laufrades passt nicht zum ausgewählten Laufradtyp.	Auswahl eines anderen Laufradtyps (axial/ radial) oder Anpassung des Wertes für die Energieverteilung zwischen den Laufrädern ("power partitioning between impellers").

8.1.1 Radiale/Halbaxiale Pumpe / Ventilator

? Impeller | Main dimensions

Der Menüpunkt **Main Dimensions** dient der Festlegung der Hauptabmessungen des Laufrades. Diese bilden die Grundlage zur konstruktiven Gestaltung einschließlich der Beschaufelung.

© CFturbo Software & Engineering GmbH



Die Strömung im Laufrad einer Pumpe ist dreidimensional und hat teilweise instationären Charakter, der durch Sekundärströmung, Strömungsablösung in Grenzschichtbereichen, Kavitation und ähnliche Besonderheiten gekennzeichnet ist. Trotzdem ist es bei der Auslegung sinnvoll und gängige Praxis, die wirkliche Strömung auf repräsentative Stromfäden zu reduzieren (Stromfadentheorie).

Bei der eindimensionalen Betrachtung sind besonders die Querschnitte am Saugmund (S), unmittelbar vor dem Beginn des Schaufelkanals (Index 0), am Ein- (1) und Austritt (2) sowie unmittelbar nach dem Ende des Schaufelkanals (3) von Bedeutung.

Details zu

➜ Setup 184

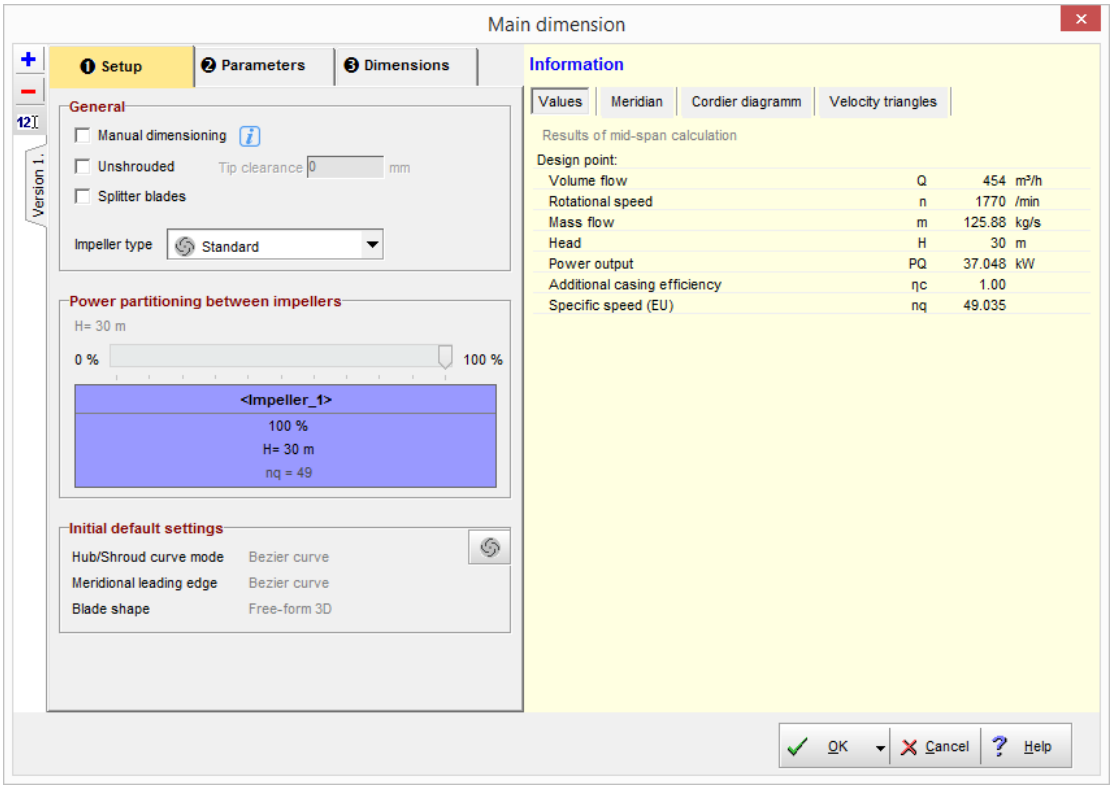
➜ Parameter 185

➜ Abmessungen (Dimensions) 192

© CFturbo Software & Engineering GmbH

8.1.1.1 Setup

Im Registerbereich **Setup** werden einige grundlegende Einstellungen vorgenommen.



Im Bereich **General** kann festgelegt werden:

- **Manual dimensioning**
  Im Manual dimensioning Modus werden die Hauptabmessungen und Schaufelwinkel nicht von CFturbo berechnet. Diese Werte sind vielmehr Eingabewerte, die vom Nutzer festgelegt werden müssen.

- **Splitter blades**
  Entwurf von Laufrädern mit/ohne Zwischenschaufeln (Splitter).

- **Unshrouded**
  Ausführung als geschlossenes oder halboffenes Laufrad.
  Im Falle des halboffenen Laufrades muss die Spaltweite (**Tip clearance**) eingegeben werden.

- **Impeller type**
  Für Pumpen kann zwischen **Standard**- und **Wastewater** (Schmutzwasser) - Laufradtyp ausgewählt werden. Für Schmutzwasser-Pumpen muss die Schaufelzahl spezifiziert werden, die für spezielle empirische Korrelationen benutzt wird.

Im Fall des Vorliegens von mehr als einem Laufrad im Projekt muss der Entwurfspunkt 67 (Förderhöhe, Druckdifferenz usw.) unter allen Laufrädern mittels **power partitioning** aufgeteilt werden. Das Entwurfsziel für die Energieübertragung für das ausgewählte Laufrad (mit dem Index i)

© CFturbo Software & Engineering GmbH

wird bestimmt mit:

$$E_i = e_i \cdot E_{Global},$$

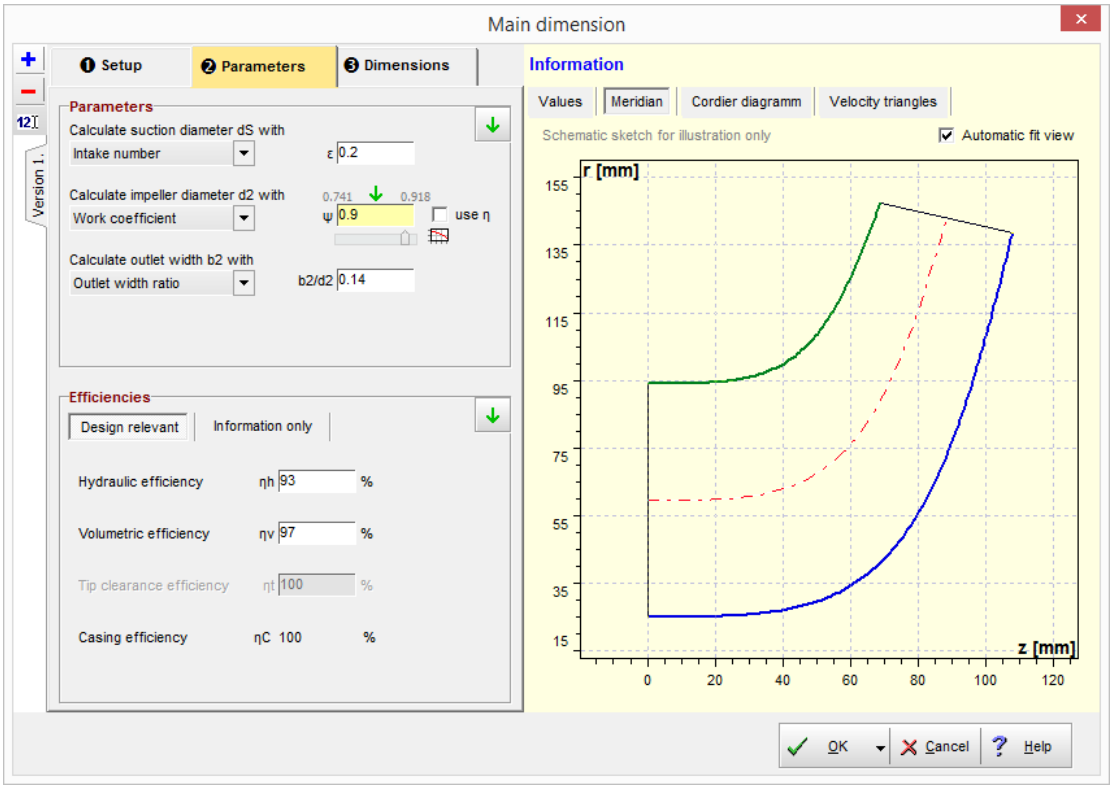
wobei der Großbuchstabe E entweder für die Förderhöhe, die spezifische Arbeit oder eine Druckdifferenz steht. Der Kleinbuchstabe e_i ist das Verhältnis, das den Anteil des ausgewählten Laufrades an der Gesamtübertragung bestimmt.

Beim Neuentwurf eins Laufrades werden die Standardeinstellungen für einige wichtige Eigenschaften im Bereich **Initial default settings** angezeigt. Diese Einstellungen werden in den weiteren Entwurfsschritten benutzt und können über den Schalter **Change settings** geändert werden. Natürlich können diese Standardeinstellungen in den jeweiligen Entwurfsschritten auch individuell geändert werden. Mehr Informationen finden Sie unter Preferences: Impeller/ Stator settings 152.

Im rechten Bereich sind einige **Informationen** bezüglich des Auslegungspunktes dargestellt, wenn die Seite **Values** ausgewählt wurde (siehe Global setup 67).

8.1.1.2 Parameter

Im Register **Parameter** wird zur Eingabe von Parametern aufgefordert, deren Vorgaben aus Funktionen in Abhängigkeit von der spezifischen Drehzahl nq bzw. vom Förderstrom Q stammen. Es existieren separate Funktionen für Pumpen und Ventilatoren. Außerdem gibt es spezielle Funktionen für Abwasserpumpen. Siehe Approximationsfunktionen 135.

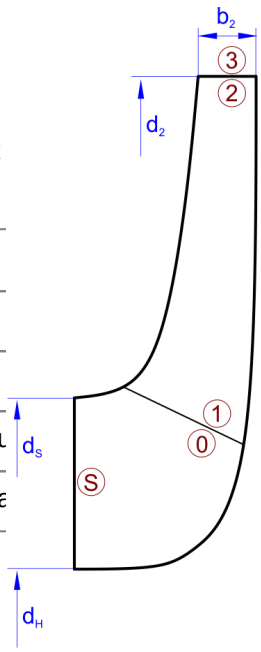


Details über die Handhabung der speziellen Eingabefelder für Parameter finden Sie im Kapitel Eingabefelder mit empirischen Funktionen 44.

Parameters

Im Bereich **Parameters** können jeweils alternative Größen für die Berechnung der folgenden Hauptabmessungen festgelegt werden:

für Pumpen
Saugmunddurchmesser d_S
Laufraddu
Laufra



für d_S-Berechnung (Pumpen)

Einlaufzahl ε	▪ Verhältnis der Zuströmgeschwindigkeit zur spezifischen Förderarbeit ▪ $\varepsilon = c_0 / \sqrt{2Y}$ ▪ 0.05…0.4 (mit nq steigend) ▪ (k_{m1} bei Stepanoff)
Zuströmwinkel β_{0a}	▪ groß → kleinere Abmessungen, geringere Reibungsverluste ▪ < 20° → verringert Kavitationsrisiko ▪ > 15° → hoher Wirkungsgrad ▪ 12°...17° → empfohlen für gute Saugfähigkeit

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Minimale Relativ-geschwindigkeit w	▪ geringe Reibungs- und Stoßverluste ▪ nur wenn kein Kavitationsrisiko ! ▪ f_{dS}=1.15...1.05 für Standard-Laufrad, nq=15...40 ▪ f_{dS}=1.25...1.15 für Sauglaufrad
Saugzahl n_{SS}	$n_{SS} = n\left[\min^{-1}\right] \cdot \frac{\sqrt{Q\left[m^3/s\right]}}{\left(NPSH_R\,[m]\right)^{3/4}}$ Standardräder u_1<50 m/s 160...220 Saugräder axialer Zulauf u_1<35 m/s 220...280 Saugräder durchgeh. Welle u_1<50 m/s 180...240 Hochdruckpumpen u_1>50 m/s 160...190 Inducer (industriell) u_1>35 m/s 400...700 Inducer (Raketentechnik) >>1000
Min. NPSH	$NPSH_R = \lambda_c \frac{c_{m1}^2}{2g} + \lambda_w \frac{w_1^2}{2g}$ ▪ λ_c Unterdruckbeiwert für Absolutgeschwindigkeit c (Eintrittsbeschleunigung und Verluste): 1.1 für axiale Zuströmung; 1.2…1.35 für radiales Zuströmgehäuse ▪ λ_w Unterdruckbeiwert für Relativgeschwindigkeit w (Druckabsenkung an der Vorderkante): 0.10…0.30 für Standard-Laufräder; 0.03…0.06 für Inducer

für d_1-Berechnung (Ventilator)

Durchmesser-verhältnis d_1/d_2	$\frac{d_1}{d_2} = 1.25 \frac{\sqrt{\psi}\sigma^{5/6}}{\sqrt{\eta_v}}$

für b_1-Berechnung (Ventilator)

Meridianver-zögerung c_{m1}/c_{mS}	

© CFturbo Software & Engineering GmbH

für d_2-Berechnung

Druckzahl ψ	▪ dimensionsloser Ausdruck für die spezifische Förderarbeit $\psi = Y/\left(u_2^2/2\right)$ bzw. $\psi = Y_{eff}/\left(u_2^2/2\right)$ 0.7 ...1.3 Radialrad 0.25...0.7 Halbaxialrad 0.1 ...0.4 Axialrad ▪ groß → kleines d_2, flache Kennlinie klein → großes d_2, steile Kennlinie ▪ Wenn die Option "**Use η**" gesetzt ist, wird die d_2-Berechnung auf Basis der effektiven spezifischen Förderarbeit $Y_{eff}=Y/\eta$ durchgefuhrt. Anderenfalls wird die spezifische Förderarbeit ohne Verluste Y benutzt.
Durchmesserzahl δ	▪ entsprechend Cordier-Diagramm (siehe Hauptabmessungen 192)
Abströmwinkel β_3	▪ 6°...13°: empfohlen für stabile Drosselkurve (mit nq steigend)

für b_2-Berechnung

Austrittsbreiten-verhältnis b_2/d_2	▪ 0.04...0.30 (mit nq steigend)
für Pumpen: Meridianverzögerung c_{m3}/c_{mS}	▪ 0.60...0.95 (mit nq steigend)
für Pumpen: Austrittszahl ε_2	▪ Verhältnis der Abströmgeschwindigkeit zur spezifischen Förderarbeit ▪ 0.08...0.26 (mit nq steigend) ▪ (k_{m2} bei Stepanoff)

© CFturbo Software & Engineering GmbH

für Ventilatoren: Deckscheibenwinkel ε_{Shr}	$\varepsilon_{Shr} = \arctan\left(2\frac{b_1 - b_2}{d_2 - d_1}\right) = 0° \ldots 20°$

Wirkungsgrad

Im Bereich **Efficiency** werden die einzelnen Wirkungsgrade vorgegeben. Dabei ist zwischen den für die Auslegung relevanten und rein informativen Wirkungsgraden zu unterscheiden:

Design relevant

- hydraulischer Wirkungsgrad η_h
- volumetrischer Wirkungsgrad η_v
- Spalt-Wirkungsgrad η_T

Nur zur Information

- Radreibungs-Wirkungsgrad η_S
- mechanischer Wirkungsgrad η_m
- Motorwirkungsgrad η_{mot}

Bei der Dimensionierung des Laufrades wird außerdem der Gehäusewirkungsgrad η_c (siehe Global setup 67) benutzt, um die zusätzlichen Verluste bei der Durchströmung des Gehäuses zu kompensieren.

Diejenigen Verluste, die zu einer Erwärmung des Förderfluids im Laufrad führen, bilden den Laufrad-Wirkungsgrad (**impeller efficiency**)

$$\eta_{Im} = \eta_h \eta_v \eta_S \eta_T$$

Laufrad-, Gehäuse- und mechanischer Wirkungsgrad bilden den Gesamtwirkungsgrad (Kupplungswirkungsgrad) der Stufe η_{St}.

Werden zusätzlich die Motorverluste berücksichtigt, so entsteht der Gesamtwirkungsgrad der Stufe inkl. Antrieb η_{St}^*.

P_Q: Förderleistung, siehe oben

P_D: mechanischer Leistungsbedarf (Kupplungs-, Antriebsleistung)

$\eta_{St}^{*} = \frac{P_Q}{P_{el}} = \eta_{St}\eta_{mot}$ P_{el}: elektrischer Leistungsbedarf des Motors

Die folgende Übersicht veranschaulicht die Einzelverluste und ihre Zusammenfassung:

Einteilung		**Wirkungsgrade**		**Relevant für Laufradentwurf**
Stufe	Gehäuse	η_C	casing	**ja**: für Energie-übertragung
	Laufrad	η_h	hydraulic	
		η_T	tip	
		η_V	volumetric	**ja**: für Volumenstrom
		η_S	side friction	**nein**: nur zur Information
	mechanisch	η_m	mechanical	
Stufe inkl. Motor	elektrisch	η_{mot}	motor	

Der erreichbare Gesamtwirkungsgrad ist in starkem Maße von der spezifischen Drehzahl, von der Baugröße und der Bauart des Laufrades sowie von konstruktiven Besonderheiten (Entlastungseinrichtungen, Hilfsaggregate) abhängig. Die mittels Approximationsfunktionen 135 ermittelten Wirkungsgrade stellen prinzipiell erreichbare Wirkungsgrade dar und müssen korrigiert werden, wenn nähere Informationen dazu verfügbar sind.

Der hydraulische Wirkungsgrad (Schaufelwirkungsgrad) η_h beinhaltet die innerhalb des Laufrades durch Reibung und Verwirbelung entstehenden Strömungsverluste. Reibungsverluste entstehen durch Schubspannungen vor allem in den Grenzschichten an allen durchströmten Bauteilen. Verwirbelungsverluste treten auf durch Querschnitts- und Richtungsänderungen, Sekundärströmung, Ablösung, Fehlanströmung, Nachlaufströmung hinter den Schaufeln und durch die Turbulenz der Strömung selbst. Der hydraulische Wirkungsgrad ist das Verhältnis von Förderarbeit zur von den Laufradschaufeln übertragenen Arbeit:

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Der volumetrische Wirkungsgrad ist ein Maß für die Abweichung des Nutzförderstromes Q vom Gesamtförderstrom $\tilde{Q}$, der auch den im Gehäuse zirkulierenden Anteil enthält:

$$\eta_v = \frac{Q}{\tilde{Q}} \approx 0.93 \ldots 0.99$$ mit der Baugröße ansteigend)

Der Spaltwirkungsgrad ist nur bei halboffenen Laufrädern von Bedeutung. Er beinhaltet die Verluste infolge Strömung des Fluids durch den Spalt zwischen Gehäuse und Schaufelspitzen von der Druck- zur Saugseite der Schaufeln. Die Strömungsverluste hängen in erster Linie von der Spaltweite x_T ab und werden mit steigender Schaufelzahl und steigendem Schaufelaustrittswinkel β_2 geringer.

$$\eta_T = 1 - f_\eta A_{Ratio} \qquad f_\eta = f(n_q, A_{Ratio}) \qquad A_{Ratio} \approx x_T / b_2$$

Der Radreibungs-Wirkungsgrad beinhaltet die Verluste, die durch die Rotation des Fördermediums in den Radseitenräumen zwischen Laufradwänden und Pumpengehäuse entstehen:

$$\eta_S = 1 - \frac{P_S}{P} \approx \begin{cases} 0.5 \ldots 0.985 & \text{für } n_q < 40 \\ 0.985 \ldots 0.995 & \text{für } n_q > 40 \end{cases}$$

Der mechanische Wirkungsgrad umfasst im wesentlichen die Reibleistungen in den Lagern und Dichtungen:

$$\eta_m = 1 - \frac{P_m}{P} \approx 0.95 \ldots 0.995$$ (mit der Baugröße ansteigend)

Für die Dimensionierung des Laufrades sind der hydraulische und der volumetrische Wirkungsgrad sowie der Spaltwirkungsgrad bei offenen Laufrädern wegen ihres Einflusses auf $\tilde{Q}$ bzw. $\tilde{Y}$ maßgebend. Der mechanische und der Radreibungs-Wirkungsgrad beeinflussen nur die erforderliche Antriebsleistung der Maschine.

Information

Im rechten Bereich des Registers **Parameter** sind einige Berechnungsgrößen zur **Information** dargestellt:

Erforderliche Antriebsleistung	
Leistungsverlust	
Laufrad-Wirkungsgrad	

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Stufenwirkungsgrad	$\eta_{St} = \frac{P_Q}{P_D} = \eta_{Im}\eta_m\eta_c$
Stufenwirkungsgrad inkl. Motor	$\eta_{St}^* = \frac{P_Q}{P_{el}} = \eta_{St}\eta_{mot}$

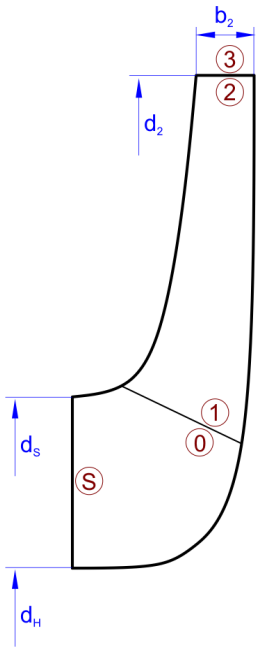
8.1.1.3 Hauptabmessungen (Dimensions)

Im Register **Dimensions**, Bereich **Shaft/ hub** erfolgt die Berechnung des erforderlichen Wellendurchmessers und die Festlegung des Nabendurchmessers.

➜ Wellen-/Nabendurchmesser 261

Die Festlegung der Hauptabmessungen (Saugmunddurchmesser d_S, Außendurchmesser d_2, Radbreite b_2) erfolgt im Bereich **Main dimensions**.

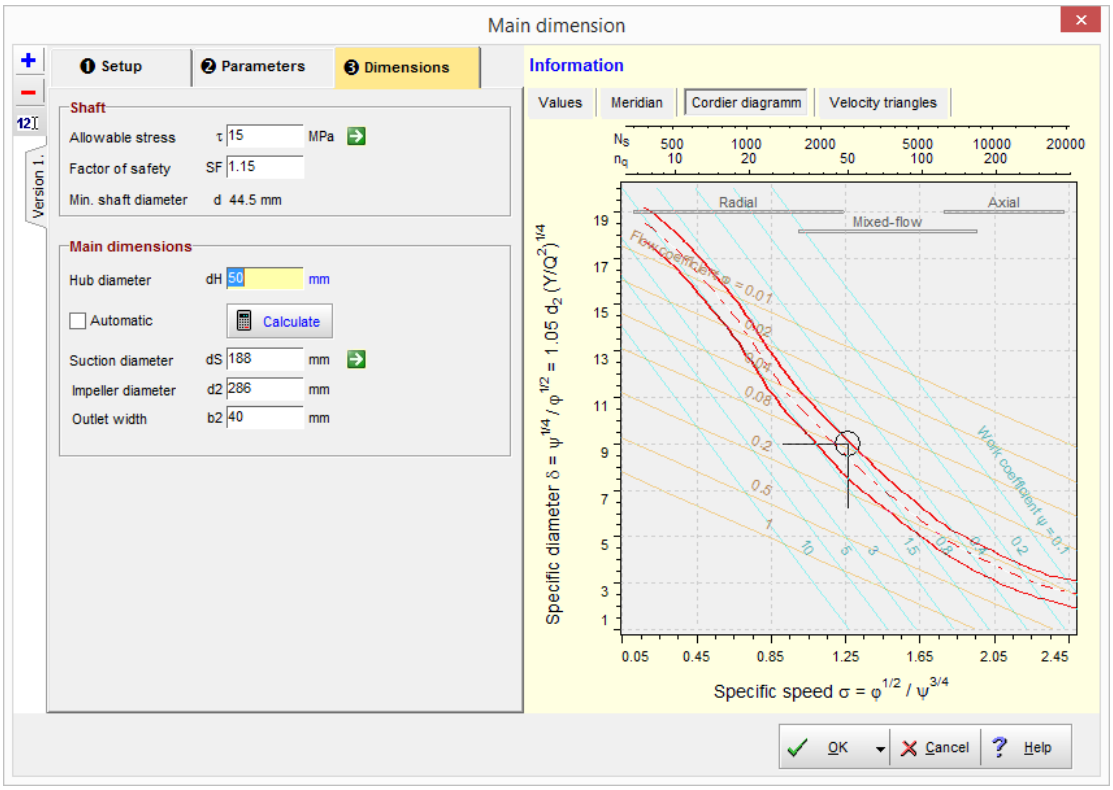
Durch Betätigen des Schalters **Calculate** kann eine Neuberechnung durchgeführt werden. Es werden die Eulersche Hauptgleichung der Turbomaschinen, die Kontinuitätsgleichung und die Beziehungen für die Geschwindigkeitsdreiecke sowie die zuvor festgelegten Parameter genutzt. Auch hier besteht die Möglichkeit, die Werte ungeändert zu übernehmen oder geringfügige Änderungen vorzunehmen (z.B. zur Einhaltung bestimmter Durchmesserstufungen).



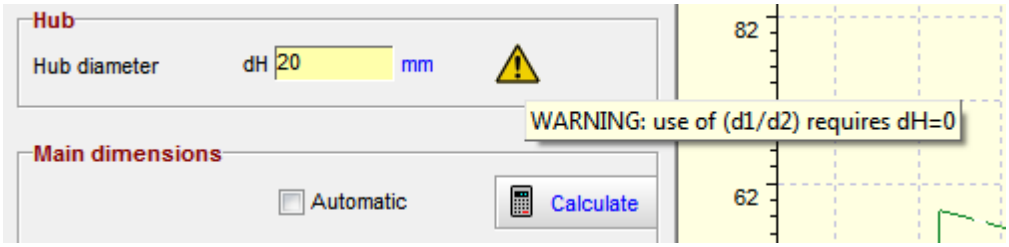
Wird die Checkbox **Automatic** aktiviert, dann wird nach jeder Parameteränderung eine Neuberechnung durchgeführt. In diesem Fall sind manuelle Änderungen der Hauptabmessungen nicht möglich.

Prinzipiell sollte man im Hinblick auf die Baugröße möglichst geringe Werte für d_2 anstreben, wobei aber zu knapp bemessene Durchmesser – vor allem bei Radialrädern – zu sehr großen (nicht realisierbaren) Schaufelwinkeln β_2 führen.

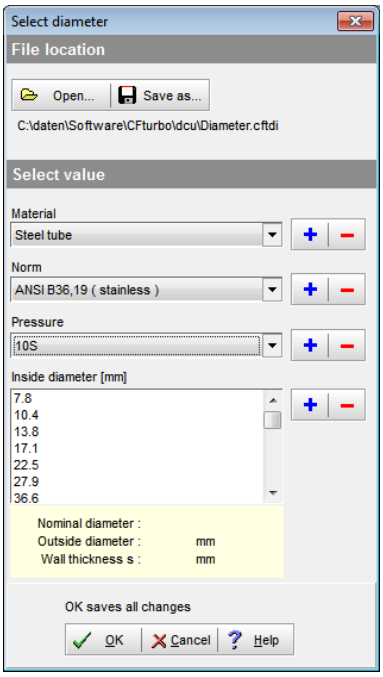
© CFturbo Software & Engineering GmbH



Eine Besonderheit besteht bei Ventilatoren. Wenn hier der Saugmunddurchmesser d_S mit Hilfe des Durchmesserverhältnisses d_1/d_2 berechnet wird, muss die Tragscheibe eben sein, d.h. Nabendurchmesser $d_N = 0$. Ansonsten sind die empirischen Korrelationen nicht mehr gültig. Gibt der Nutzer einen von Null abweichenden Wert für d_N ein, so wird er durch ein Warnsymbol auf diese Problematik aufmerksam gemacht. Die Lösung besteht in diesem Fall darin, einen anderen Berechnungsweg für die Bestimmung des Saugmunddurchmessers d_S zu wählen (siehe Parameter 185).



© CFturbo Software & Engineering GmbH



Bei dem Durchmessern d_S besteht die Möglichkeit, einen Wert aus Normreihen auszuwählen. Dazu muss der Schalter rechts neben dem Eingabefeld betätigt werden. Es öffnet sich der Dialog zur Auswahl eines Normdurchmessers. Nachdem Werkstoff, Normbezeichnung und Druckbereich gewählt worden sind, werden im unteren Bereich alle Innendurchmesser der entsprechenden Norm aufgelistet, wobei der naheliegendste automatisch markiert wird. Unterhalb dieser Liste werden Nennweite, Außendurchmesser und Wanddicke für den markierten Eintrag zur Information angezeigt. Mit den Schaltern + und − können weitere Normreihen bzw. eigene Durchmesserstufungen hinzugefügt oder vorhandene entfernt werden. Die Übernahme des selektierten Wertes erfolgt durch den **OK**-Schalter.

Im Bereich **File location** wird der Name der Datei angezeigt, die die Durchmesserreihen enthält. Standardmäßig heißt diese Datei **Diameter.cftdi** und befindet sich im Installationsverzeichnis von CFturbo. Änderungen an den Normreihen werden automatisch gespeichert, wenn man den Dialog durch Betätigen des **OK**-Schalters verlässt. Sind keine Schreibrechte vorhanden, erscheint ein entsprechender Hinweis und man hat die Möglichkeit, einen alternativen Speicherort auszuwählen. Dateiname und Verzeichnis können auch explizit geändert werden, indem man den Schalter **Save as...** betätigt. Mit dem Schalter **Open...** kann eine entsprechende Datei geöffnet werden.

Information

Im rechten Teil jedes Registers ist ein Informationsbereich vorhanden, in dem entsprechend dem aktuellen Entwurfsstatus Berechnungsgrößen, der resultierende Meridianschnitt 196 sowie das Cordier-Diagramm 196 mit der Lage der Auslegungspunktes dargestellt wird. Diese drei Bereiche werden durch Wahl des zugehörigen Softbuttons in der Kopfzeile ausgewählt und zur Anzeige gebracht.

Im Informationsbereich des Registers **Dimensions** sind folgende Berechnungsgrößen zur **Information** dargestellt, die sich aus den berechneten bzw. festgelegten Hauptabmessungen ergeben:

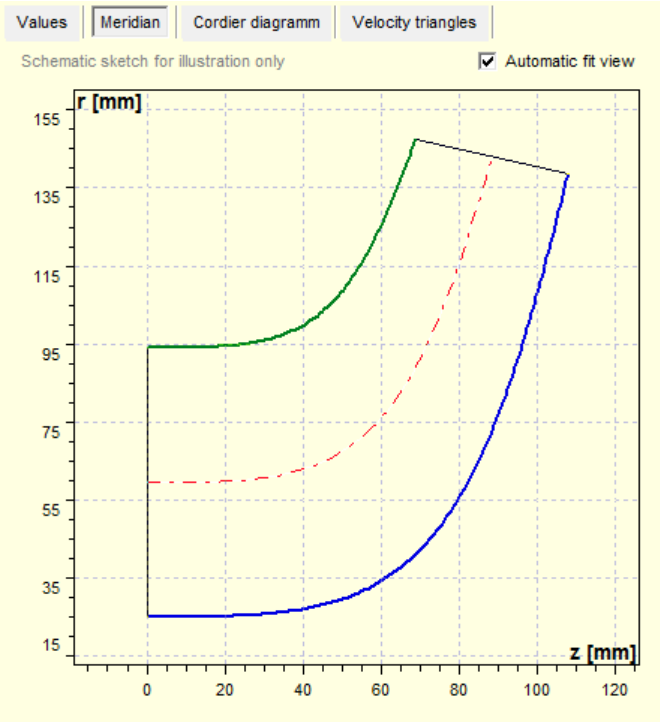
Druckzahl	
Mittlere meridionale Eintrittsgeschwindigkeit	

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Mittlere meridionale Eintrittsgeschwindigkeit (netto)	$\bar{c}_{mS}^{\,*} = \frac{Q}{\pi/4\left(d_S^{\,2} - d_N^{\,2}\right)}$
Mittlere meridionale Austrittsgeschwindigkeit	$\bar{c}_{m3} = \frac{Q/\eta_v}{\pi d_2 b_2}$
Mittlere meridionale Austrittsgeschwindigkeit (netto)	$\bar{c}_{m3}^{\,*} = \frac{Q}{\pi d_2 b_2}$
NPSH-Abschätzung	Pfleiderer $NPSH_R = \lambda_c \frac{c_{m1}^{\,2}}{2g} + \lambda_w \frac{w_1^{\,2}}{2g}$ mit Verlust-Koeffizienten λ_c = 1.1 … 1.35, λ_w = (0.03) 0.1 … 0.3
	Gülich $NPSH_R = H \cdot \left(n_q / n_{SS}\right)^{4/3}$ or $NPSH_R = \left(n\sqrt{Q} / n_{SS}\right)^{4/3}$ mit spezifischer Suagzahl n_{SS} = 160…280
	Stepanoff $NPSH_R = \sigma \cdot H$ mit Kavitationszahl $\sigma = 1.22 \cdot 10^{-3} \cdot n_q^{\,4/3}$
	Petermann $NPSH_R = 1/g \cdot \left(n\sqrt{Q} / S_q\right)^{4/3}$ mit Suagkennzahl S_q = (0.2) 0.4…0.6 (2.0)
	Europump $NPSH_R = (0.3 \ldots 0.5) \cdot n\sqrt{Q}$
Austritts-Breitenverhältnis	b_2/d_2
Meridianverzögerung	
Abgeschätzte Axialkraft	

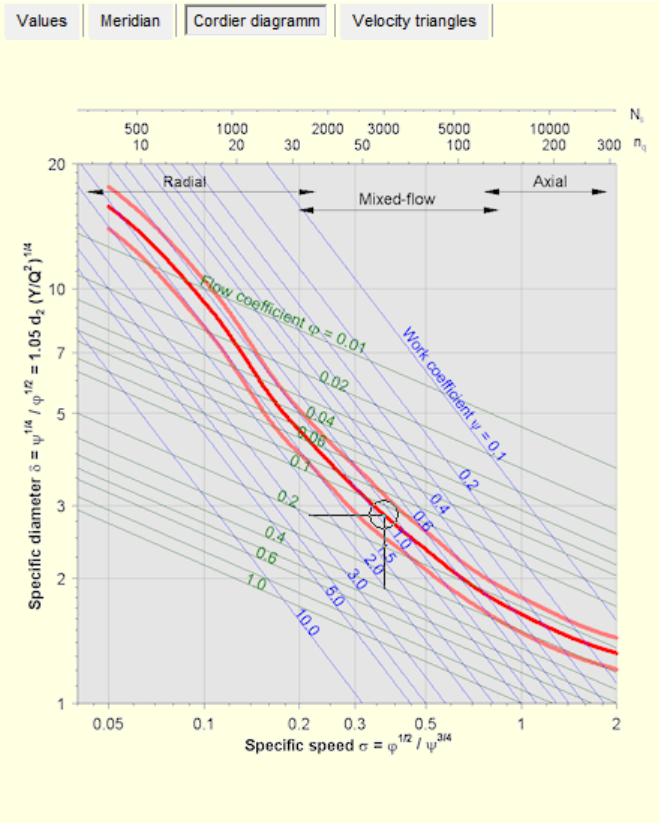
© CFturbo Software & Engineering GmbH

Der **Meridianschnitt** basiert auf den bis hierher entworfenen Hauptabmessungen und spiegelt die generellen Größenverhältnisse wieder.



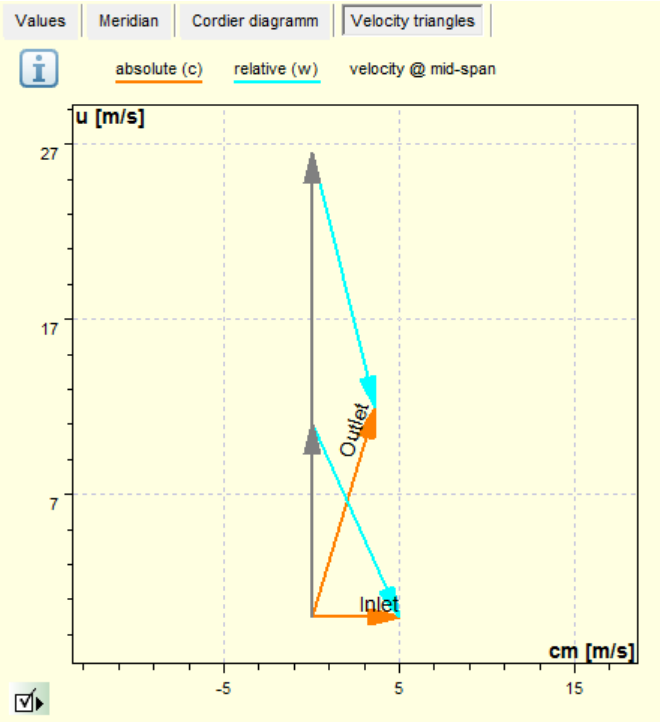
Das **Cordier-Diagramm** beruht auf der intensiven Analyse bewährter Turbomaschinen durch die Auswertung einer Vielzahl von experimentellen Daten.

© CFturbo Software & Engineering GmbH



Die Geschwindigkeitsdreiecke **(Velocity triangles)** sind die Ergebnisse einer Mittelschnittsrechnung und basieren auf dem Entwurfspunkt 67 und den bis hierher entworfenen Hauptabmessungen.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

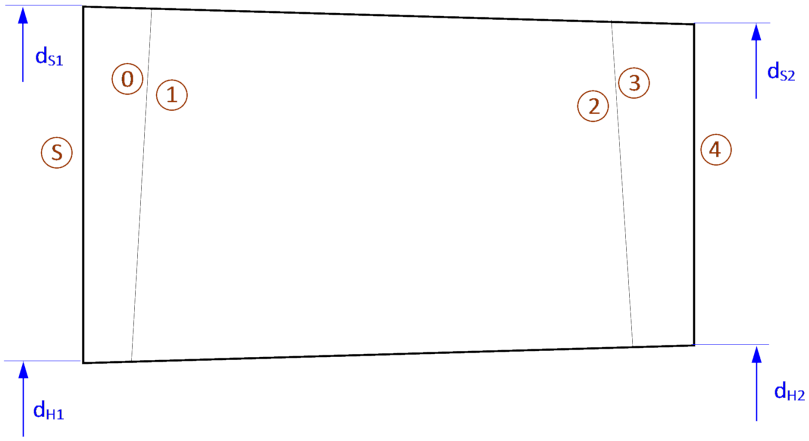


8.1.2 Axiale Pumpe / Ventilator

? Impeller | Main dimensions

Der Menüpunkt **Main Dimensions** dient der Festlegung der Hauptabmessungen des axialen Laufrades. Diese bilden die Grundlage zur konstruktiven Gestaltung einschließlich der Beschaufelung.

© CFturbo Software & Engineering GmbH



Die Strömung im Laufrad einer Pumpe ist dreidimensional und hat teilweise instationären Charakter, der durch Sekundärströmung, Strömungsablösung in Grenzschichtbereichen, Kavitation und ähnliche Besonderheiten gekennzeichnet ist. Trotzdem ist es bei der Auslegung sinnvoll und gängige Praxis, die wirkliche Strömung auf repräsentative Stromfäden zu reduzieren (Stromfadentheorie).

Bei der eindimensionalen Betrachtung sind besonders die Querschnitte am Saugmund (S), unmittelbar vor dem Beginn des Schaufelkanals (Index 0), am Ein- (1) und Austritt (2) sowie unmittelbar nach dem Ende des Schaufelkanals (3) sowie im Austritt (4) von Bedeutung.

Details

→ Setup 200

→ Pumpe: Parameters 201

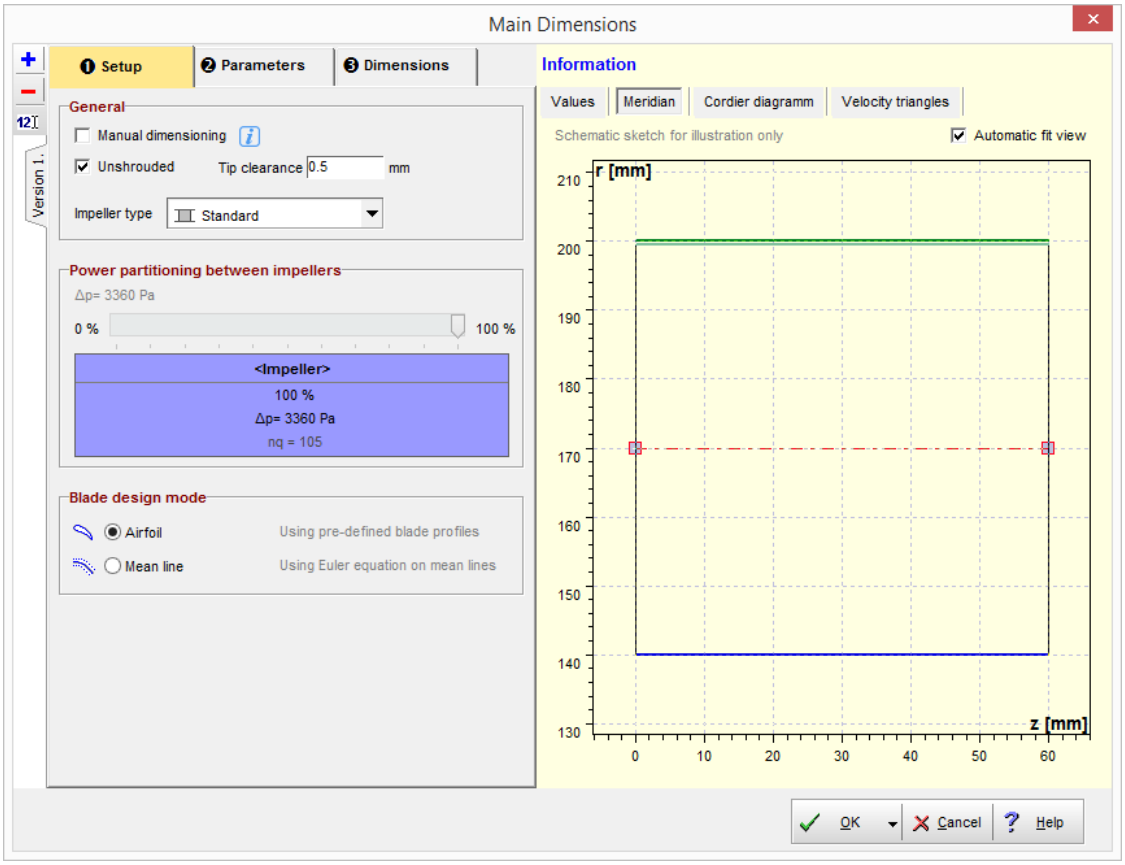
→ Ventilator: Parameters 209

→ Dimensions 214

© CFturbo Software & Engineering GmbH

8.1.2.1 Setup

Im Registerbereich **Setup** werden einige grundlegende Einstellungen vorgenommen.



General

- **Manual dimensioning**
  Im Manual dimensioning Modus werden die Hauptabmessungen und Schaufelwinkel nicht von CFturbo berechnet. Diese Werte sind vielmehr Eingabewerte, die vom Nutzer festgelegt werden müssen.

- **Unshrouded**
  Ausführung als geschlossenes oder halboffenes Laufrad.
  Im Falle des halboffenen Laufrades muss die Spaltweite (**Tip clearance**) eingegeben werden.

- **Impeller type**
  Für Pumpen kann zwischen **Standard**- und **Inducer** (Vorsatzläufer) - Laufradtyp ausgewählt werden.
  Für Ventilatoren kann zwischen **Standard**- und **Automotive cooling** (Kühlerlüfter) - Laufradtyp ausgewählt werden.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Power partitioning between impellers

Im Fall des Vorliegens von mehr als einem Laufrad im Projekt muss der Entwurfspunkt 67 (Förderhöhe, Druckdifferenz usw.) unter allen Laufrädern mittels power partitioning aufgeteilt werden. Das Entwurfsziel für die Energieübertragung für das ausgewählte Laufrad (mit dem Index i) wird bestimmt mit:

$$E_i = e_i \cdot E_{Global},$$

wobei der Großbuchstabe E entweder für die Förderhöhe, die spezifische Arbeit oder eine Druckdifferenz steht. Der Kleinbuchstabe e_i ist das Verhältnis, das den Anteil des ausgewählten Laufrades an der Gesamtübertragung bestimmt.

Blade design mode

- **Airfoil/Hydrofoil** 343
  Entwurf entsprechend Airfoil/Hydrofoil Entwurfstheorie.
- **Mean line** 287
  Entwurf entsprechend mean line Entwurfstheorie.

Initial default settings

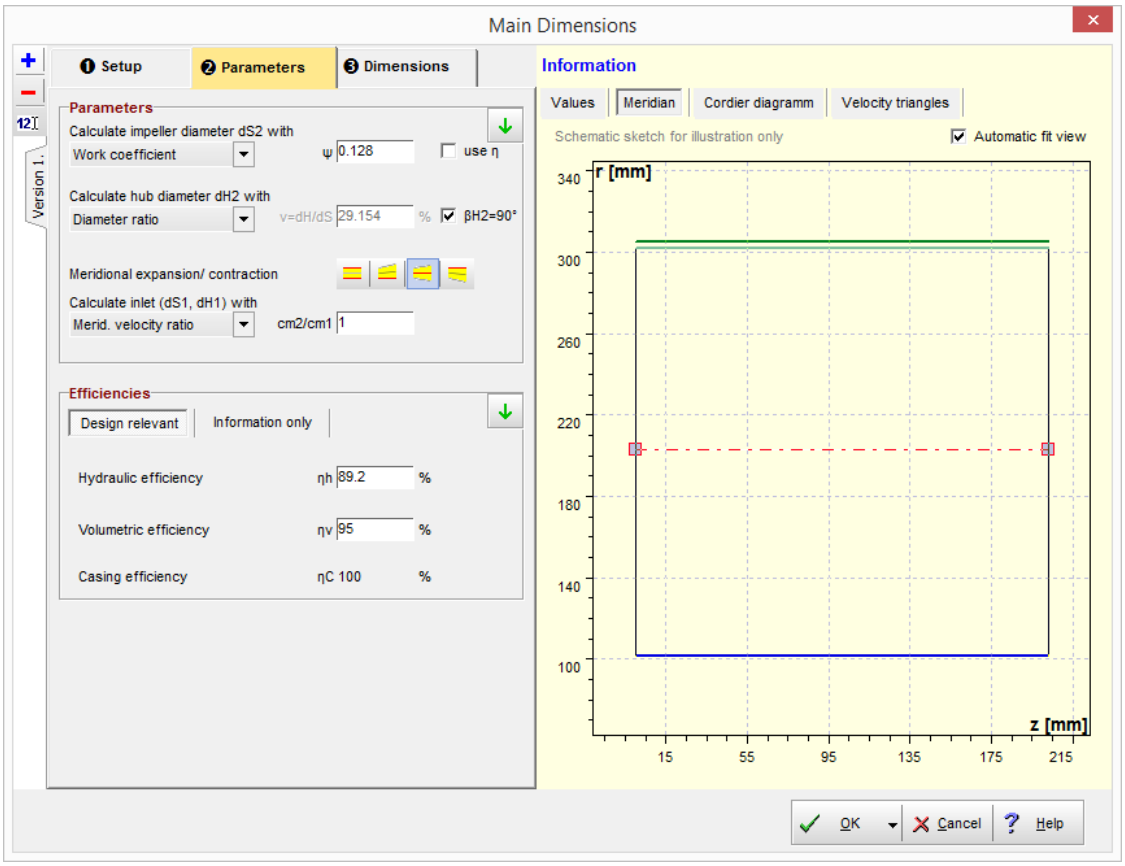
Beim Neuentwurf eins Laufrades werden die Standardeinstellungen für einige wichtige Eigenschaften im Bereich **Initial default settings** angezeigt. Diese Einstellungen werden in den weiteren Entwurfsschritten benutzt und können über den Schalter **Change settings** geändert werden. Natürlich können diese Standardeinstellungen in den jeweiligen Entwurfsschritten auch individuell geändert werden. Mehr Informationen finden Sie unter Preferences: Impeller/ Stator settings 152.

Im rechten Bereich sind einige **Informationen** bezüglich des Auslegungspunktes dargestellt, wenn die Seite **Values** ausgewählt wurde (siehe Global setup 67).

8.1.2.2 Parameter Pumpen

Im Register **Parameter** wird zur Eingabe von Parametern aufgefordert, deren Vorgaben aus Funktionen in Abhängigkeit von der spezifischen Drehzahl nq bzw. vom Förderstrom Q stammen. Siehe Approximationsfunktionen 135.

© CFturbo Software & Engineering GmbH



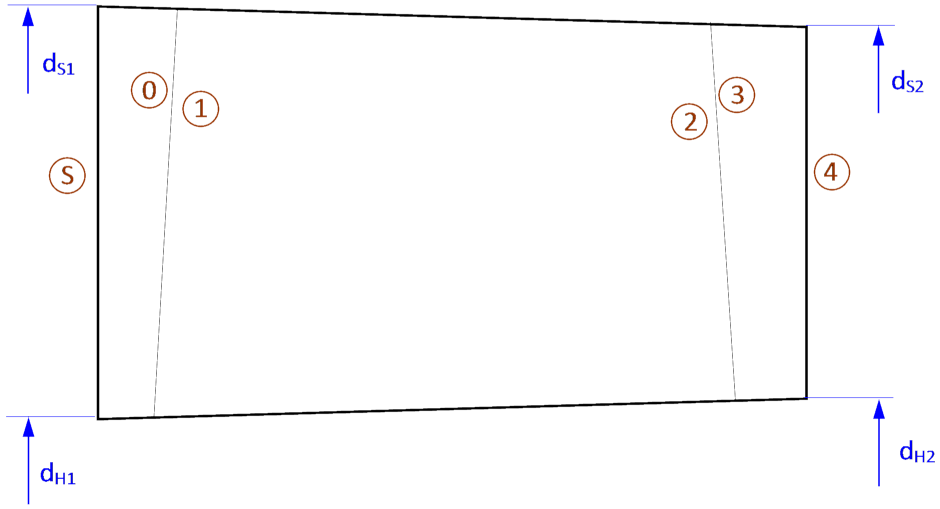
Details über die Handhabung der speziellen Eingabefelder für Parameter finden Sie im Kapitel Eingabefelder mit empirischen Funktionen 44.

Parameters

Im Bereich **Parameters** können jeweils alternative Größen für die Berechnung der folgenden Hauptabmessungen festgelegt werden:

Eintritt	**Austritt**
d_{S1}, d_{H1}	d_{S2}, d_{H2}

© CFturbo Software & Engineering GmbH



Das folgende gilt im Wesentlichen für normale axiale Pumpen-Laufräder - für Inducer 207 gelten spezielle Zusammenhänge.

Für d_{S2}-Berechnung

Druckzahl ψ	▪ dimensionsloser Ausdruck für die spezifische Förderarbeit $\psi = Y/\left(u_2^2/2\right)$ bzw. $\psi = Y_{eff}/\left(u_2^2/2\right)$ 0.7 ...1.3 Radialrad 0.25...0.7 Halbaxialrad 0.1 ...0.4 Axialrad ▪ groß → kleines d_2, flache Kennlinie klein → großes d_2, steile Kennlinie ▪ Wenn die Option "**Use η**" gesetzt ist, wird die d_2-Berechnung auf Basis der effektiven spezifischen Förderarbeit $Y_{eff}=Y/\eta$ durchgefuhrt. Anderenfalls wird die spezifische Förderarbeit ohne Verluste Y benutzt.
Durchmesserzahl δ	▪ entsprechend Cordier-Diagramm (siehe Hauptabmessungen 214)

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Für d_{H2}-Berechnung

Durchmesserverhältnis d_{H2}/d_{S2}	$\frac{d_{H2}}{d_{S2}} = 0.4 \ldots 0.9$ Wenn die Option "**β_{H2} = 90°**" gesetzt ist, wird das Durchmesserverhältnis bestimmt mit: $\frac{d_{H2}}{d_{S2}} = \frac{\sqrt{Y}}{u_{S2}}$ Mit der Annahme: $c_u \cdot u = Y$ = konst.

Für d_{S1}/d_{H1}-Berechnung

Meridionales Geschwindigkeits-verhältnis c_{m2}/c_{m1}	$\frac{c_{m2}}{c_{m1}} = 0.9 \ldots 1.1$
Durchmesserverhältnis d_{H1}/d_{S1}	$\frac{d_{H1}}{d_{S1}} = 0.4 \ldots 0.9$ rein axial $d_{H2} = d_{H1}$ und $d_{S2} = d_{S1}$ konst. Hub $d_{H2} = d_{H1}$ konst. Mitte $d_{M2} = d_{M1}$ konst. Shroud $d_{S2} = d_{S1}$

Wirkungsgrad

Im Bereich **Efficiency** werden die einzelnen Wirkungsgrade vorgegeben. Dabei ist zwischen den für die Auslegung relevanten und rein informativen Wirkungsgraden zu unterscheiden:

Design relevant

- Hydraulischer Wirkungsgrad η_h
- Volumetrischer Wirkungsgrad η_v

Nur zur Information

- Mechanischer Wirkungsgrad η_m
- Motor-Wirkungsgrad η_{mot}

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Bei der Dimensionierung des Laufrades wird außerdem der Gehäusewirkungsgrad η_c (siehe Global setup 67) benutzt, um die zusätzlichen Verluste bei der Durchströmung des Gehäuses zu kompensieren.

Diejenigen Verluste, die zu einer Erwärmung des Förderfluids im Laufrad führen, bilden den Laufrad-Wirkungsgrad (**impeller efficiency**)

$$\eta_{Im} = \eta_h \cdot \eta_v$$

Laufrad-, Gehäuse- und mechanischer Wirkungsgrad bilden den Gesamtwirkungsgrad (Kupplungswirkungsgrad) der Stufe η_{St}.

Werden zusätzlich die Motorverluste berücksichtigt, so entsteht der Gesamtwirkungsgrad der Stufe inkl. Antrieb η_{St}^*.

$$\eta_{St} = \frac{P_Q}{P_D} = \eta_{Im}\eta_c\eta_m$$

P_Q: Förderleistung, siehe oben

P_D: mechanischer Leistungsbedarf (Kupplungs-, Antriebsleistung)

$$\eta_{St}^* = \frac{P_Q}{P_{el}} = \eta_{St}\eta_{mot}$$

P_{el}: elektrischer Leistungsbedarf des Motors

Die folgende Übersicht veranschaulicht die Einzelverluste und ihre Zusammenfassung:

Einteilung		**Wirkungsgrade**		**Relevant für Laufradentwurf**
Stufe	Gehäuse	η_C	casing	**ja**: für Energie-übertragung
	Laufrad	η_h	hydraulic	
		η_V	volumetric	**ja**: für Volumenstrom
	mechanisch	η_m	mechanical	
Stufe inkl. Motor	elektrisch	η_{mot}	motor	

Der erreichbare Gesamtwirkungsgrad ist in starkem Maße von der spezifischen Drehzahl, von der

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Baugröße und der Bauart des Laufrades sowie von konstruktiven Besonderheiten (Entlastungseinrichtungen, Hilfsaggregate) abhängig. Die mittels Approximationsfunktionen[135] ermittelten Wirkungsgrade stellen prinzipiell erreichbare Wirkungsgrade dar und müssen korrigiert werden, wenn nähere Informationen dazu verfügbar sind.

Der total-total Wirkungsgrad (Schaufelwirkungsgrad) η_{tt} beinhaltet die innerhalb des Laufrades durch Reibung und Verwirbelung entstehenden Strömungsverluste. Reibungsverluste entstehen durch Schubspannungen vor allem in den Grenzschichten an allen durchströmten Bauteilen. Verwirbelungsverluste treten auf durch Querschnitts- und Richtungsänderungen, Sekundärströmung, Ablösung, Fehlanströmung, Nachlaufströmung hinter den Schaufeln und durch die Turbulenz der Strömung selbst. Der hydraulische Wirkungsgrad ist das Verhältnis von Förderarbeit zur von den Laufradschaufeln übertragenen Arbeit.

Der volumetrische Wirkungsgrad ist ein Maß für die Abweichung des Nutzförderstromes Q vom Gesamtförderstrom $\tilde{Q}$, der auch den im Gehäuse zirkulierenden Anteil enthält:

$$\eta_v = \frac{Q}{\tilde{Q}} \approx 0.70 \ldots 0.95$$ (mit der kleiner werdendem Spalt (tip clearance) ansteigend)

Der mechanische Wirkungsgrad umfasst im wesentlichen die Reibleistungen in den Lagern und Dichtungen:

$$\eta_m = 1 - \frac{P_m}{P} \approx 0.95 \ldots 0.995$$ (mit der Baugröße ansteigend)

Für die Dimensionierung des Laufrades sind der hydraulische und der volumetrische Wirkungsgrad sowie der Spaltwirkungsgrad bei offenen Laufrädern wegen ihres Einflusses auf $\tilde{Q}$ bzw. $\tilde{Y}$ maßgebend. Der mechanische und der Radreibungs-Wirkungsgrad beeinflussen nur die erforderliche Antriebsleistung der Maschine.

Information

Im rechten Bereich des Registers **Parameter** sind einige Berechnungsgrößen zur **Information** dargestellt:

Erforderliche Antriebsleistung	$P_D = \frac{P_Q}{\eta_{St}}$
Leistungsverlust	
Laufrad-Wirkungsgrad	

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Stufen-Wirkungsgrad	$\eta_{St} = \frac{P_Q}{P_D} = \eta_{Im}\eta_m\eta_c$
Stufen-Wirkungsgrad inkl. Motor	$\eta_{St}^{*} = \frac{P_Q}{P_{el}} = \eta_{St}\eta_{mot}$

8.1.2.2.1 Inducer

Inducers werden normalerweise vor radialen Pumpenlaufrädern angeordnet, um die Saugfähigkeit der Pumpe (Reduzierung $NPSH_R$) zu erhöhen.

Der wichtige Saugmunddurchmesser d_{S1} wird mit Hilfe der meridionalen Durchflusszahl φ_m bestimmt:

$$\varphi_m = \frac{Q}{A_S u_{S1}} = \frac{4Q}{\pi\left(d_{S1}^{\,2} - d_{H1}^{\,2}\right)\cdot \pi d_{S1} n} = \frac{c_{m1}}{u_{S1}} = \tan\beta_{0S}$$

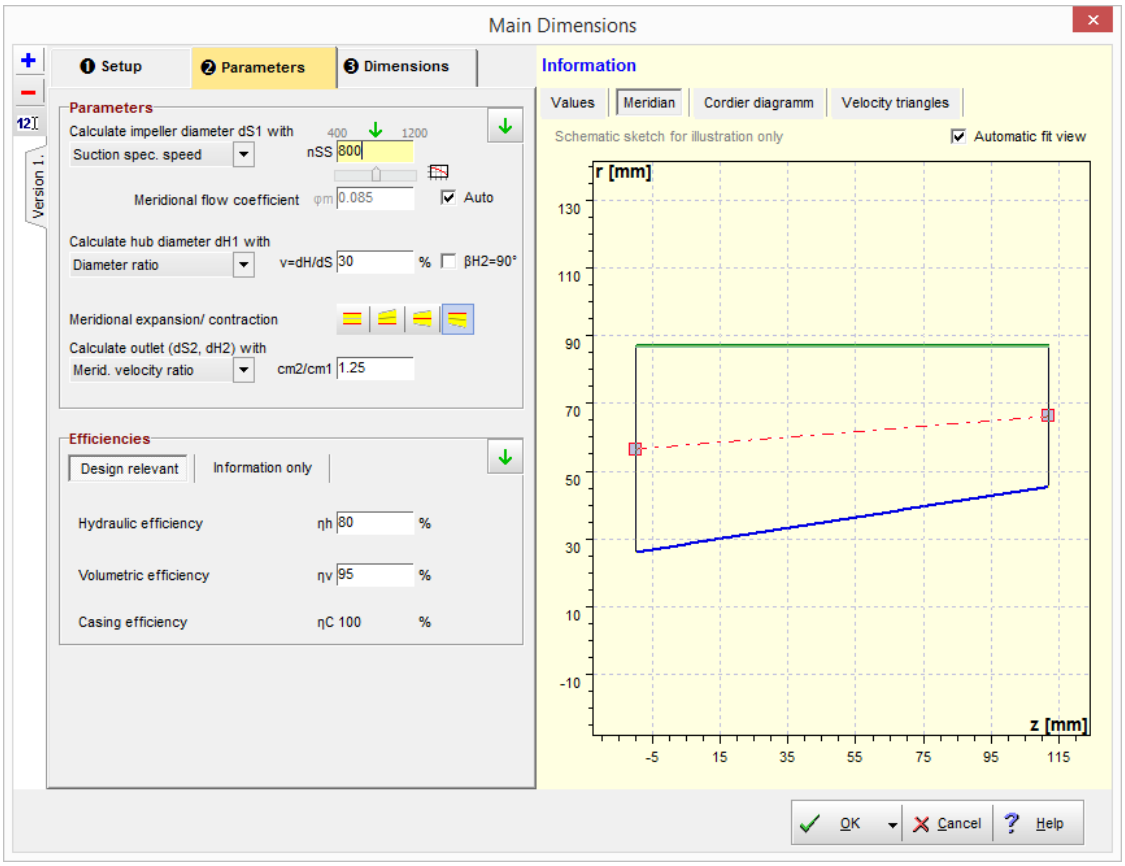
In CFturbo wir die sogenannte Brumfield-Kurve zur Abschatzung eines passenden φ_m-Wertes benutzt , um ein bestimmtes Niveau der Saugfähigkeit zu erreichen. Als Eingabewert dient die spezifische Saugzahl n_{ss}:

$$n_{SS} = n\left[\min^{-1}\right]\cdot \frac{\sqrt{Q\left[m^3/s\right]}}{\left(NPSH_R\ [m]\right)^{3/4}}$$

(oder die US-Definition N_{ss}, siehe Preferences/Units/Other 151)

Die Brumfield-Kurve kann angezeigt und auch bei bedarf modifiziert werden, indem auf den Funktions-Schalter unmittelbar rechts vom n_{ss}-Eingabefeld geklickt wird.

© CFturbo Software & Engineering GmbH



Der φ_m-Wert kann basierend auf dem eingegebenen n_{ss}-Wert automatisch berechnet werden oder manuell modifiziert werden. Es existiert eine Grenze von $\varphi_m \approx 0.06$, unterhalb derer Rückströmung an den Schaufelspitzen und kavitationsbedingte Strömungs-Instabilitäten entstehen.

Alternativ kann der rel. Zustromwinkel β_{0S} oder direkt die meridionale Durchflusszahl φ_m vorgegeben werden. Weiterhin stehen natürlich die Parameter des klassischen Axialpumpen-Entwurfs 201 zur Verfügung.

Der Eintritts-Nabendurchmesser d_{H1} wird mit Hilfe des Durchmesserverhältnisses ν_1 bestimmt:

$$\nu_1 = \frac{d_{H1}}{d_{S1}} \approx 0.2 \ldots 0.4$$

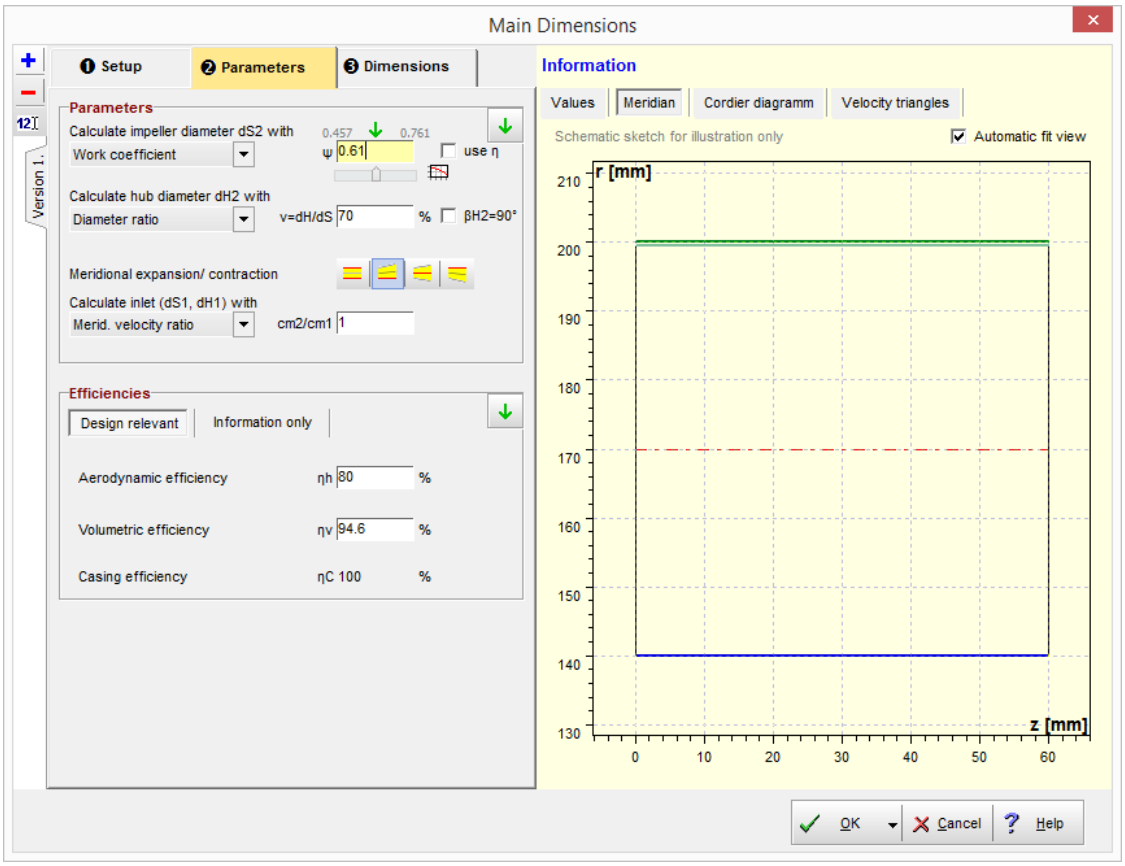
Typisch für Inducer ist ein konstanter Durchmesser an den Schaufelspitzen (Shroud). Der Nabendurchmesser kann vom Ein- zum Austritt geringfügig ansteigen, um die zentrifugale Wirkung für die Energieübertragung zu nutzen. Die Meridianbeschleunigung zwischen Ein-und Austritt kann benutzt werden, um den Austrittsquerschnitt abzuschätzen:

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Alternativ kann das Durchmesserverhaltnis $\nu_2=d_{H2}/d_{S2}$ am Austritt analog zu dem an der Eintrittsseite genutzt werden.

8.1.2.3 Parameter Ventilator

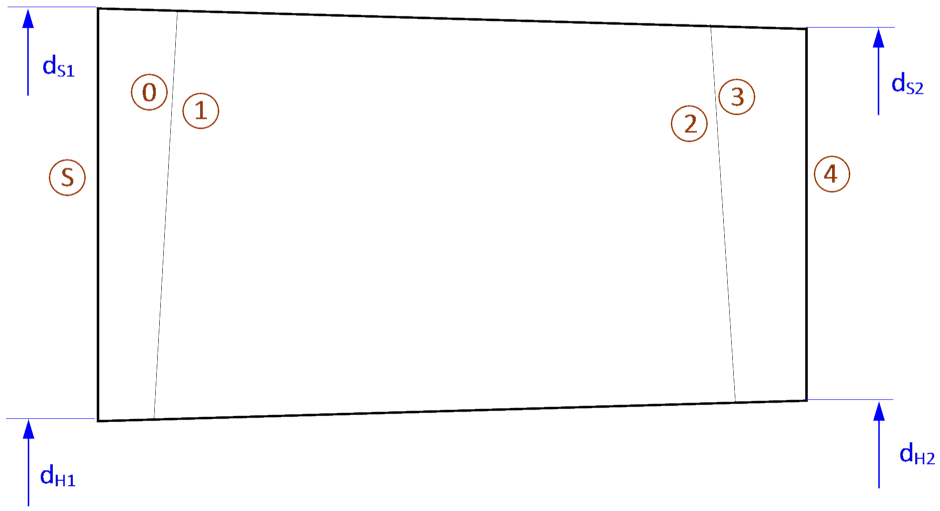
Im Register **Parameter** wird zur Eingabe von Parametern aufgefordert, deren Vorgaben aus Funktionen in Abhängigkeit von der spezifischen Drehzahl nq bzw. vom Förderstrom Q stammen. Siehe Approximationsfunktionen 135.



Parameters

Im Bereich **Parameters** können jeweils alternative Größen für die Berechnung der folgenden Hauptabmessungen festgelegt werden:

Eintritt	Austritt
d_{S1}, d_{H1}	d_{S2}, d_{H2}



Details über die Handhabung der speziellen Eingabefelder für Parameter finden Sie im Kapitel Eingabefelder mit empirischen Funktionen 44.

Für d_{S2}-Berechnung

Druckzahl ψ	▪ dimensionsloser Ausdruck für die spezifische Förderarbeit $\psi = Y/\left(u_2^2/2\right)$ bzw. $\psi = Y_{eff}/\left(u_2^2/2\right)$ 0.7 ...1.3 Radialrad 0.25...0.7 Halbaxialrad 0.1 ...0.4 Axialrad ▪ groß → kleines d_2, flache Kennlinie klein → großes d_2, steile Kennlinie ▪ Wenn die Option "**Use η**" gesetzt ist, wird die d_2-Berechnung auf Basis der effektiven spezifischen Förderarbeit $Y_{eff}=Y/\eta$ durchgefuhrt. Anderenfalls wird die spezifische Förderarbeit ohne Verluste Y benutzt.

Für d_{H2}-Berechnung

Durchmesserverhältnis d_{H2}/d_{S2}	

© CFturbo Software & Engineering GmbH

	Wenn die Option "**β_{H2} = 90°**" gesetzt ist, wird das Durchmesserverhältnis bestimmt mit: $\frac{d_{H2}}{d_{S2}} = \frac{\sqrt{Y}}{u_{S2}}$ Mit der Annahme: $c_u \cdot u = Y$ = konst.

Für d_{S1}/d_{H1}-Berechnung

Meridionales Geschwindigkeits-verhältnis c_{m2}/c_{m1}	$\frac{c_{m2}}{c_{m1}} = 0.9 \ldots 1.1$
Durchmesserverhältnis d_{H1}/d_{S1}	$\frac{d_{H1}}{d_{S1}} = 0.4 \ldots 0.9$ rein axial $d_{H2} = d_{H1}$ und $d_{S2} = d_{S1}$ konst. Hub $d_{H2} = d_{H1}$ konst. Mitte $d_{M2} = d_{M1}$ konst. Shroud $d_{S2} = d_{S1}$

Wirkungsgrad

Im Bereich **Efficiency** werden die einzelnen Wirkungsgrade vorgegeben. Dabei ist zwischen den für die Auslegung relevanten und rein informativen Wirkungsgraden zu unterscheiden:

Design relevant

- Total-total Wirkungsgrad η_{tt}
- Volumetrischer Wirkungsgrad η_v

Nur zur Information

- Mechanischer Wirkungsgrad η_m
- Motor-Wirkungsgrad η_{mot}

Bei der Dimensionierung des Laufrades wird außerdem der Gehäusewirkungsgrad η_c (siehe Global setup 67) benutzt, um die zusätzlichen Verluste bei der Durchströmung des Gehäuses zu kompensieren.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Diejenigen Verluste, die zu einer Erwärmung des Förderfluids im Laufrad führen, bilden den Laufrad-Wirkungsgrad (**impeller efficiency**)

$$\eta_{lm} = \eta_{tt}\eta_V$$

Laufrad-, Gehäuse- und mechanischer Wirkungsgrad bilden den Gesamtwirkungsgrad (Kupplungswirkungsgrad) der Stufe η_{St}.

Werden zusätzlich die Motorverluste berücksichtigt, so entsteht der Gesamtwirkungsgrad der Stufe inkl. Antrieb η_{St}^*.

$$\eta_{St} = \frac{P_Q}{P_D} = \eta_{lm}\eta_c\eta_m$$

P_Q: Förderleistung, siehe oben

P_D: mechanischer Leistungsbedarf (Kupplungs-, Antriebsleistung)

$$\eta_{St}^* = \frac{P_Q}{P_{el}} = \eta_{St}\eta_{mot}$$

P_{el}: elektrischer Leistungsbedarf des Motors

Die folgende Übersicht veranschaulicht die Einzelverluste und ihre Zusammenfassung:

Einteilung		**Wirkungsgrade**		**Relevant für Laufradentwurf**
Stufe	Gehäuse	η_C	casing	**ja**: für Energieübertragung
	Laufrad	η_{tt}	total-total	
		η_V	volumetric	**ja**: für Volumenstrom
	mechanisch	η_m	mechanical	
Stufe inkl. Motor	elektrisch	η_{mot}	motor	

Der erreichbare Gesamtwirkungsgrad ist in starkem Maße von der spezifischen Drehzahl, von der Baugröße und der Bauart des Laufrades sowie von konstruktiven Besonderheiten (Entlastungseinrichtungen, Hilfsaggregate) abhängig. Die mittels Approximationsfunktionen 135 ermittelten Wirkungsgrade stellen prinzipiell erreichbare Wirkungsgrade dar und müssen korrigiert werden, wenn nähere Informationen dazu verfügbar sind.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Der total-total Wirkungsgrad (Schaufelwirkungsgrad) η_{tt} beinhaltet die innerhalb des Laufrades durch Reibung und Verwirbelung entstehenden Strömungsverluste. Reibungsverluste entstehen durch Schubspannungen vor allem in den Grenzschichten an allen durchströmten Bauteilen. Verwirbelungsverluste treten auf durch Querschnitts- und Richtungsänderungen, Sekundärströmung, Ablösung, Fehlanströmung, Nachlaufströmung hinter den Schaufeln und durch die Turbulenz der Strömung selbst. Der hydraulische Wirkungsgrad ist das Verhältnis von Förderarbeit zur von den Laufradschaufeln übertragenen Arbeit.

Der volumetrische Wirkungsgrad ist ein Maß für die Abweichung des Nutzförderstromes Q vom Gesamtförderstrom $\tilde{Q}$, der auch den im Gehäuse zirkulierenden Anteil enthält:

$$\eta_v = \frac{Q}{\tilde{Q}} \approx 0.70 \ldots 0.95$$ (mit der kleiner werdendem Spalt (tip clearance) ansteigend)

Der mechanische Wirkungsgrad umfasst im wesentlichen die Reibleistungen in den Lagern und Dichtungen:

$$\eta_m = 1 - \frac{P_m}{P} \approx 0.95 \ldots 0.995$$ (mit der Baugröße ansteigend)

Für die Dimensionierung des Laufrades sind der hydraulische und der volumetrische Wirkungsgrad sowie der Spaltwirkungsgrad bei offenen Laufrädern wegen ihres Einflusses auf $\tilde{Q}$ bzw. $\tilde{Y}$ maßgebend. Der mechanische und der Radreibungs-Wirkungsgrad beeinflussen nur die erforderliche Antriebsleistung der Maschine.

Information

Im rechten Bereich des Registers **Parameter** sind einige Berechnungsgrößen zur **Information** dargestellt:

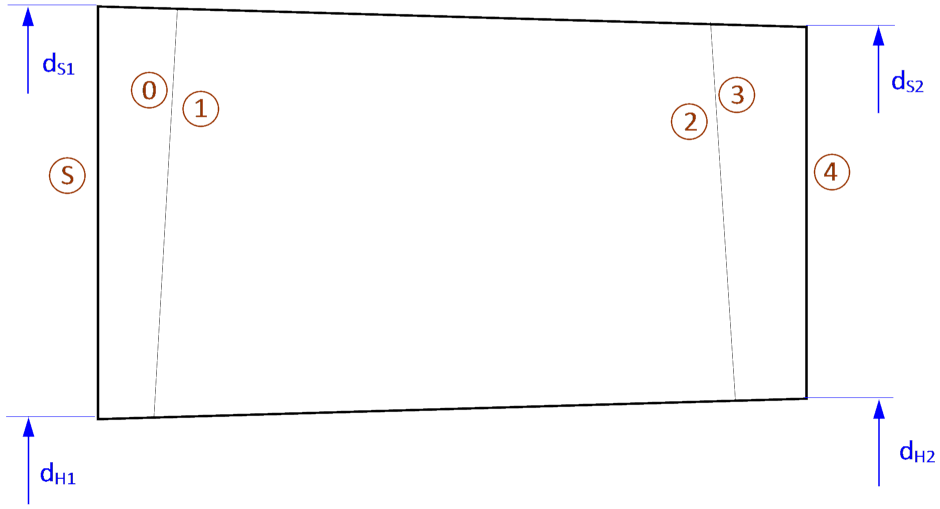
Erforderliche Antriebsleistung	$P_D = \frac{P_Q}{\eta_{St}}$
Leistungsverlust	$P_L = P_D - P_Q = P_D(1 - \eta_{St})$
Laufrad-Wirkungsgrad	
Stufen-Wirkungsgrad	

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Stufen-Wirkungsgrad inkl. Motor	$\eta_{St}^{*} = \frac{P_Q}{P_{el}} = \eta_{St}\eta_{mot}$

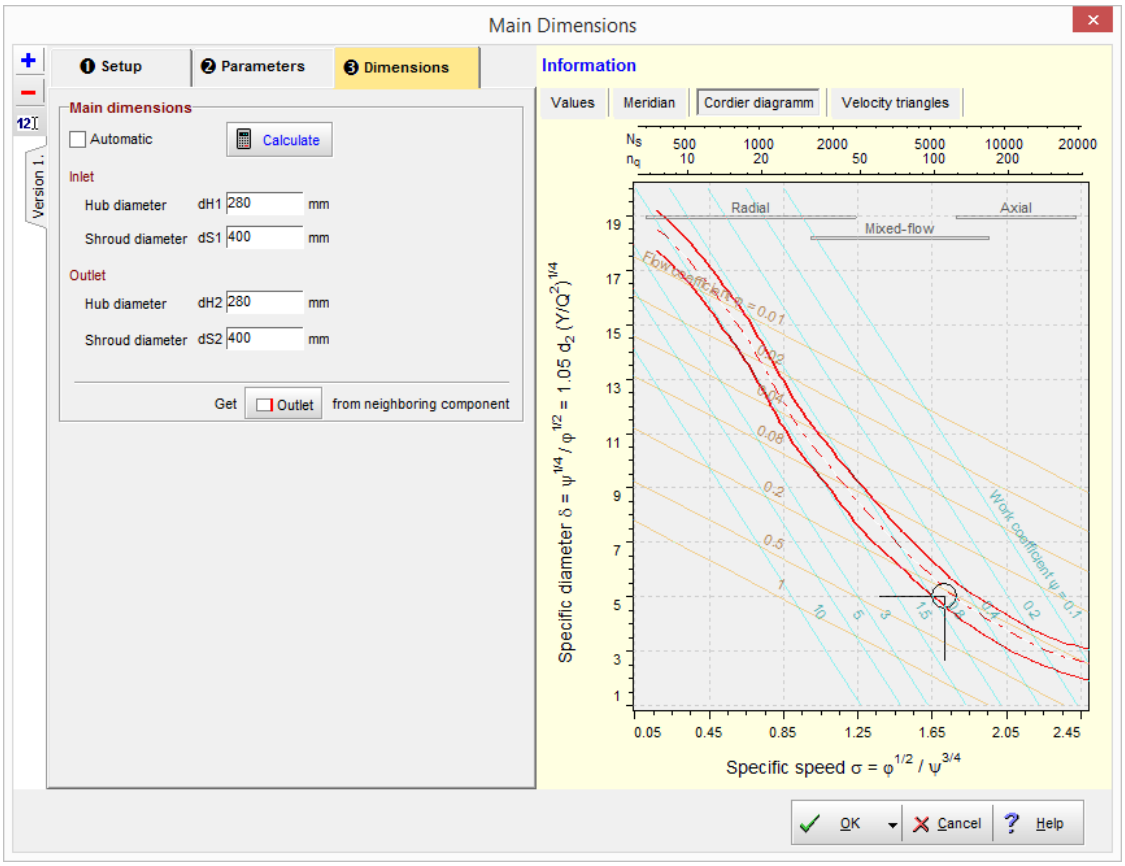
8.1.2.4 Hauptabmessungen (Dimensions)

Die Festlegung der Hauptabmessungen (-Saugmunddurchmesser d_{S1} und d_{H1} und Austrittsdurchmesser d_{S2} und d_{H2}) erfolgt im Bereich **Main dimensions**.
Durch Betätigen des Schalters **Calculate** kann eine Neuberechnung durchgeführt werden. Es werden die Eulersche Hauptgleichung der Turbomaschinen, die Kontinuitätsgleichung und die Beziehungen für die Geschwindigkeitsdreiecke sowie die zuvor festgelegten Parameter genutzt. Auch hier besteht die Möglichkeit, die Werte ungeändert zu übernehmen oder geringfügige Änderungen vorzunehmen (z.B. zur Einhaltung bestimmter Durchmesserstufungen).



Wird die Checkbox **Automatic** aktiviert, dann wird nach jeder Parameteränderung eine Neuberechnung durchgeführt. In diesem Fall sind manuelle Änderungen der Hauptabmessungen nicht möglich.

© CFturbo Software & Engineering GmbH



Information

Im rechten Teil jedes Registers ist ein Informationsbereich vorhanden, in dem entsprechend dem aktuellen Entwurfsstatus Berechnungsgrößen, der resultierende Meridianschnitt 196 sowie das Cordier-Diagramm 196 mit der Lage der Auslegungspunktes dargestellt wird. Diese drei Bereiche werden durch Wahl des zugehörigen Softbuttons in der Kopfzeile ausgewählt und zur Anzeige gebracht.

Im Informationsbereich des Registers **Dimensions** sind folgende Berechnungsgrößen zur **Information** dargestellt, die sich aus den berechneten bzw. festgelegten Hauptabmessungen ergeben:

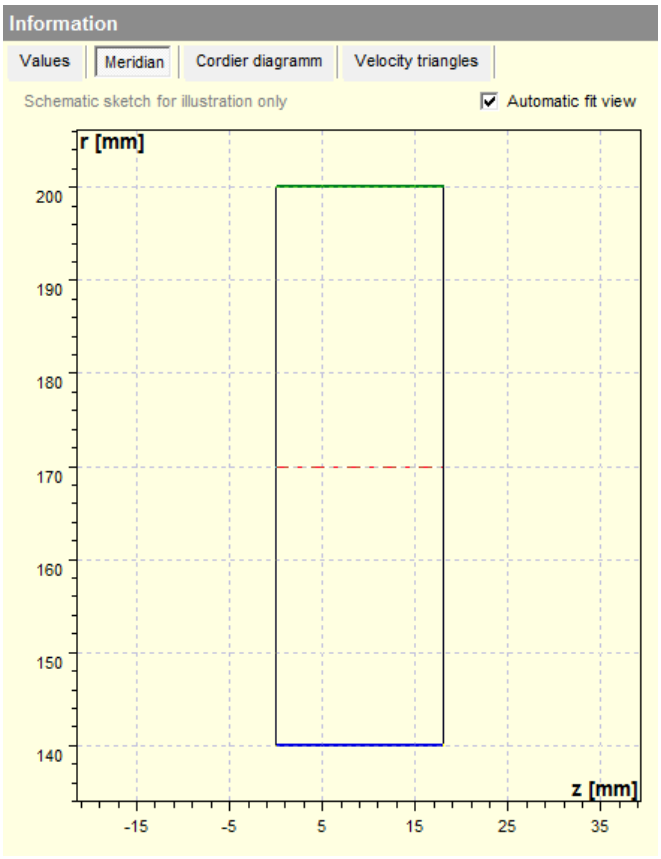
Druckzahl	
Mittlere meridionale Eintrittsgeschwindigkeit	

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Umfangskomponente der Eintrittsgeschwindigkeit	c_{u1}
Relative Eintrittsgeschwindigkeit	w_1
Mittlere meridionale Austrittsgeschwindigkeit	$c_{m2} = \frac{Q}{\pi/4\left(d_{S2}^2 - d_{H2}^2\right)}$
Umfangskomponente der Austrittsgeschwindigkeit	$c_{u2} = \frac{1}{u_2}\left(Y - u_1 c_{u1}\right)$
Relative Austrittsgeschwindigkeit	w_2
Meridionales Geschwindigkeitsverhältnis	c_{m2}/c_{m1}
Relatives Geschwindigkeitsverhältnis	w_2/w_1

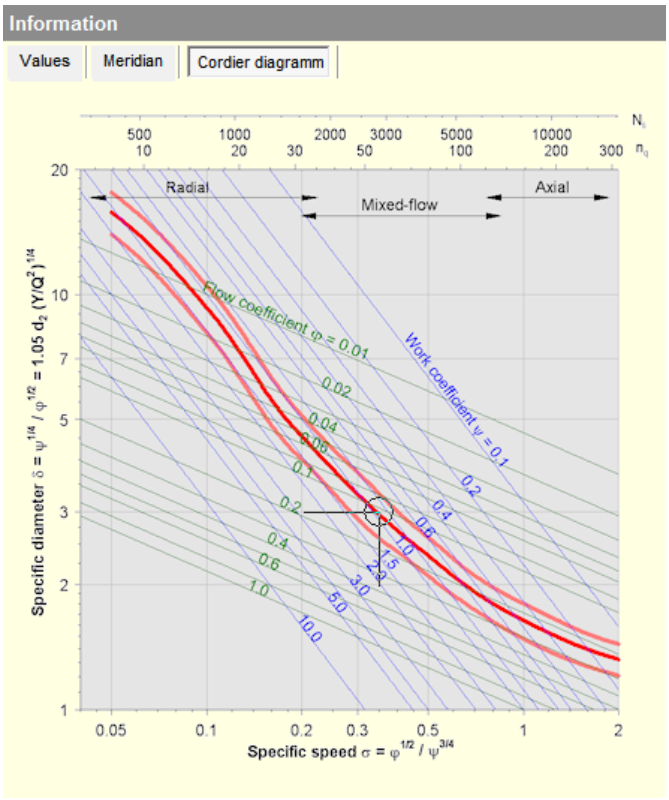
Der **Meridianschnitt** basiert auf den bis hierher entworfenen Hauptabmessungen und spiegelt die generellen Größenverhältnisse wieder.

© CFturbo Software & Engineering GmbH



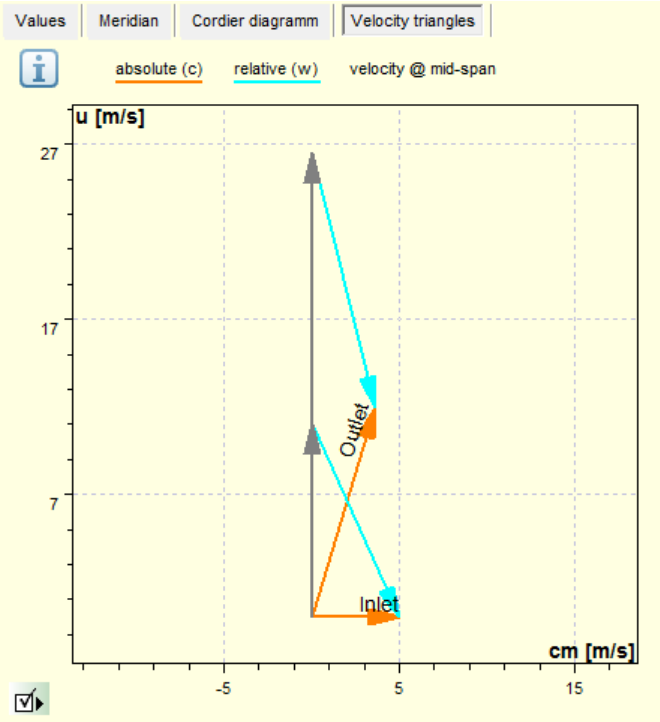
Das **Cordier-Diagramm** beruht auf der intensiven Analyse bewährter Turbomaschinen durch die Auswertung einer Vielzahl von experimentellen Daten.

© CFturbo Software & Engineering GmbH



Die Geschwindigkeitsdreiecke **(Velocity triangles)** sind die Ergebnisse einer Mittelschnittsrechnung und basieren auf dem Entwurfspunkt 67 und den bis hierher entworfenen Hauptabmessungen.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

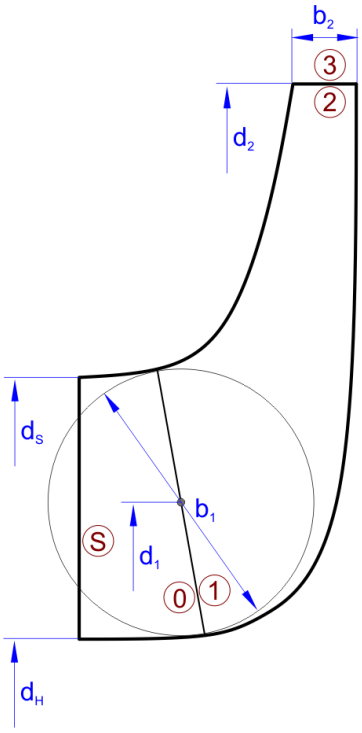


8.1.3 Radialverdichter

? Impeller | Main dimensions

Der Menüpunkt **Main Dimensions** dient der Festlegung der Hauptabmessungen des Laufrades. Diese bilden die Grundlage zur konstruktiven Gestaltung einschließlich der Beschaufelung.

© CFturbo Software & Engineering GmbH



Die Strömung im Laufrad eines Verdichters ist dreidimensional und hat teilweise instationären Charakter, der durch Sekundärströmung, Strömungsablösung in Grenzschichtbereichen und ähnliche Besonderheiten gekennzeichnet ist. Trotzdem ist es bei der Auslegung sinnvoll und gängige Praxis, die wirkliche Strömung auf repräsentative Stromfäden zu reduzieren (Stromfadentheorie).

Bei der eindimensionalen Betrachtung sind besonders die Querschnitte am Saugmund (S), unmittelbar vor dem Beginn des Schaufelkanals (Index 0), am Ein- (1) und Austritt (2) sowie unmittelbar nach dem Ende des Schaufelkanals (3) von Bedeutung.

Details zu

➜ Setup 221

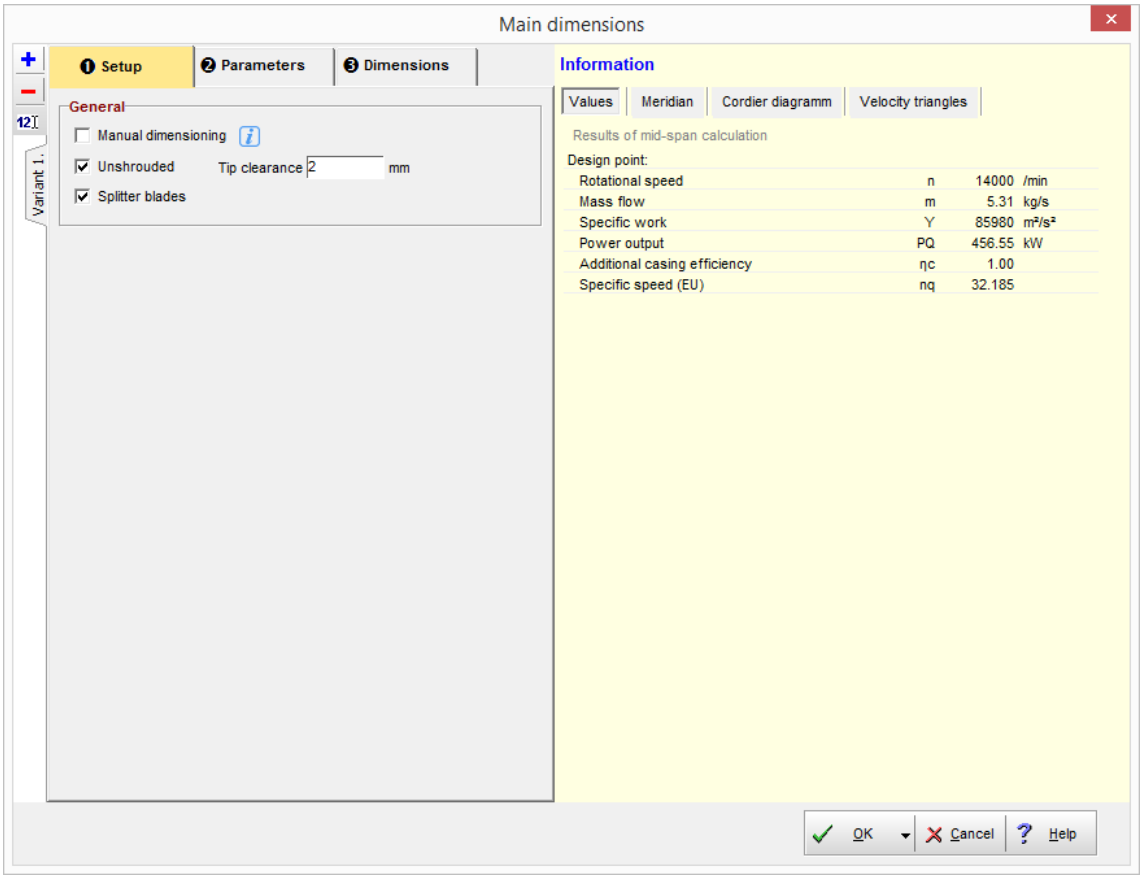
➜ Parameter 222

➜ Hauptabmessungen (Dimensions) 221

© CFturbo Software & Engineering GmbH

8.1.3.1 Setup

Im Registerbereich **Setup** werden einige grundlegende Einstellungen vorgenommen.



Im Bereich **General** kann festgelegt werden:

- **Manual dimensioning**
  Im Manual dimensioning Modus werden die Hauptabmessungen und Schaufelwinkel nicht von CFturbo berechnet. Diese Werte sind vielmehr Eingabewerte, die vom Nutzer festgelegt werden müssen.

  - **Splitter blades**
    Entwurf von Laufrädern mit/ohne Zwischenschaufeln (Splitter).

  - **Unshrouded**
    Ausführung als geschlossenes oder halboffenes Laufrad.
    Im Falle des halboffenen Laufrades muss die Spaltweite (**Tip clearance**) eingegeben werden.

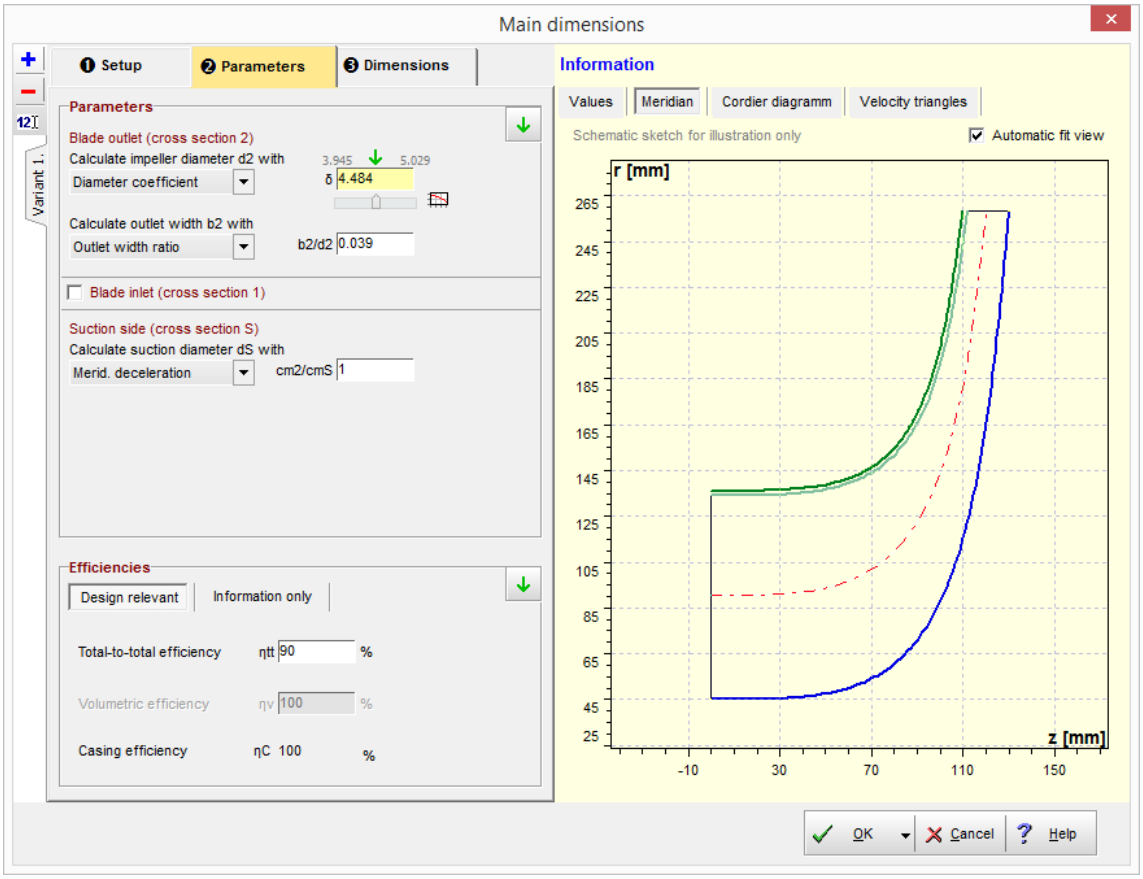
Beim Neuentwurf eins Laufrades werden die Standardeinstellungen für einige wichtige Eigenschaften im Bereich **Initial default settings** angezeigt. Diese Einstellungen werden in den weiteren Entwurfsschritten benutzt und können über den Schalter **Change settings** geändert werden. Natürlich können diese Standardeinstellungen in den jeweiligen Entwurfsschritten auch individuell geändert werden. Mehr Informationen finden Sie unter Preferences: Impeller/ Stator settings 152.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Im rechten Bereich sind einige **Informationen** bezüglich des Auslegungspunktes dargestellt, wenn die Seite **Values** ausgewählt wurde (siehe Global setup 67).

8.1.3.2 Parameter

Im Register **Parameter** wird zur Eingabe von Parametern aufgefordert, deren Vorgaben aus Funktionen in Abhängigkeit von der spezifischen Drehzahl nq bzw. vom Förderstrom Q stammen (siehe Approximationsfunktionen 135).

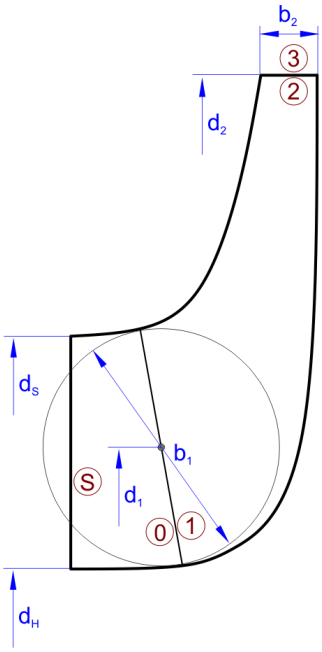


Details über die Handhabung der speziellen Eingabefelder für Parameter finden Sie im Kapitel Eingabefelder mit empirischen Funktionen 44.

Parameters

Im Bereich **Parameters** können jeweils alternative Größen für die Berechnung der Hauptabmessungen festgelegt werden:

- Saugmunddurchmesser d_S
- Außendurchmesser d_2
- Radbreite b_2



für d_2-Berechnung

Druckzahl ψ	▪ dimensionsloser Ausdruck fur die spezifische Forderarbeit $Y=\Delta h_{is}$ bzw. $Y_{eff}=\Delta h$ $\psi = \frac{\Delta h_{is}}{u_2^2/2}$ bzw. $\psi = \frac{\Delta h}{u_2^2/2}$ ▪ groß → kleines d_2, flache Kennlinie klein → großes d_2, steile Kennlinie ▪ Wenn die Option "**Use η**" gesetzt ist, wird die d_2-Berechnung auf Basis der effektiven spezifischen Enthalpie $\Delta h=\Delta h_{is}/\eta$ durchgeführt. Anderenfalls wird die isentrope spezifische Enthalpie Δh_{is} benutzt.
(Totale) Lieferzahl φ_t	▪ dimensionsloser Ausdruck für den Förderstrom 0.01 schmales Radialrad, unverwundene Schaufeln 0.15 Diagonalrad, verwundene Schaufeln
Durchmesserzahl δ	▪ entsprechend Cordier-Diagramm (siehe Hauptabmessungen 228)

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Umfangs-Mach-Zahl Ma_u	▪ dimensionsloser Ausdruck für die Umfangsgeschwindigkeit des Laufrades in Bezug auf die Ruhe-Schallgeschwindigkeit im Saugzustand $Ma_u = \frac{u_2}{a_{t,S}}$
Umfangsgeschwindigkeit u_2	▪ Grenzwerte aus Festigkeitsgründen in Abhängigkeit vom Werkstoff

für b_2-Berechnung

Austrittsbreitenverhältnis b_2/d_2	▪ 0.01...0.15 (mit nq steigend)
Meridionale Lieferzahl φ_m	▪ dimensionsloser Ausdruck für den Förderstrom $\varphi_m = \frac{Q_2}{\pi d_2 b_2 u_2} = \frac{c_{2m}}{u_2}$ 0.10...0.50 (mit nq steigend)

für d_1-Berechnung (optional)

Durchmesserverhältnis d_1/d_2	d_1/d_2=0.3...0.8
Relativverzögerung w_2/w_1	w_2/w_1>0.7 bzw. $f(b_2/d_2)$

für b_1-Berechnung (optional)

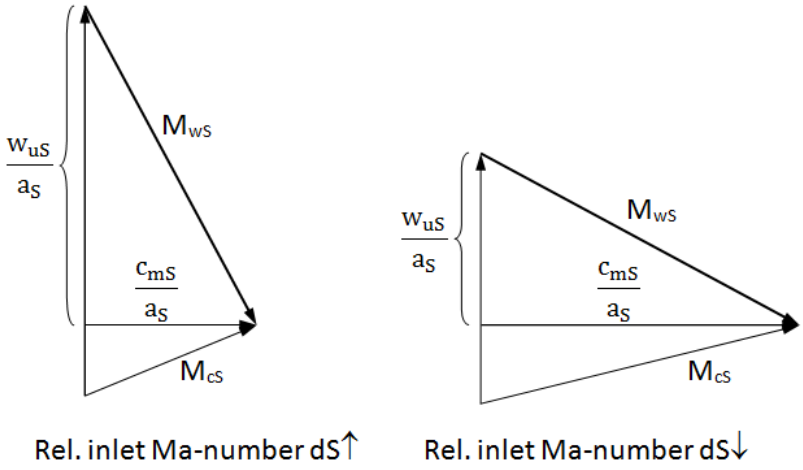
Meridianverzögerung c_{m2}/c_{m1}	c_{m2}/c_{m1} = 0.8...1.25

für d_S-Berechnung

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Meridianverzögerung c_{m1}/c_{mS} bzw. c_{m2}/c_{mS}	c_{m1}/c_{mS} = 0.9...1.1 c_{m2}/c_{mS} = 0.7...1.3
Relativer Zustromwinkel β_S	$\beta_S = \arctan\frac{c_{mS}}{w_{uS}} = \arctan\frac{c_{mS}}{u_S - c_{uS}} \approx 30°$
Relative Zuström-Machzahl M_{wS}	$M_{wS} = \frac{w_S}{a_S} = \frac{\sqrt{{c_{mS}}^2 + {w_{uS}}^2}}{\sqrt{\kappa Z R T_S}} \leq 0.75\ldots0.85$

Die relative Zuström-Machzahl kann nur in gewissen Grenzen realisiert werden. Die untere Grenze wird dadurch erzwungen, dass sowohl kleine Werte für dS (hohe Meridiangeschwindigkeit c_{mS}) als auch große Werte für dS (hohe Umfangsgeschwindigkeit u_S und damit w_{uS}) einen Anstieg der Relativgeschwindigkeit wS zur Folge haben. Aufgrund der Wurzelgleichung für M_{wS} sind zwei Werte von dS möglich. Für bestimmte Randbedingungen gibt es also immer eine minimale Relativgeschwindigkeit und damit eine minimale relative Zuström-Machzahl.



In diesem Zusammenhang ist es wichtig zu wissen, dass die Dichte von der Geschwindigkeit und damit von den geometrischen Abmessungen abhängt.

Efficiency

Im Bereich **Efficiency** werden die einzelnen Wirkungsgrade vorgegeben. Dabei ist zwischen den für die Auslegung relevanten und rein informativen Wirkungsgraden zu unterscheiden:

Design relevant

© CFturbo Software & Engineering GmbH

- Strömungs-Wirkungsgrad η_{tt} (total-total)
- volumetrischer Wirkungsgrad η_v

Information only

- mechanischer Wirkungsgrad η_m
- Motorwirkungsgrad η_{mot}

Bei der Dimensionierung des Laufrades wird außerdem der Gehäusewirkungsgrad η_c (siehe Global setup 67) benutzt, um die zusätzlichen Verluste bei der Durchströmung des Gehäuses zu kompensieren.

Diejenigen Verluste, die zu einer Erwärmung des Förderfluids im Laufrad führen, bilden den Laufrad-Wirkungsgrad (**impeller efficiency**)

$$\eta_{Im} = \eta_{tt}\eta_v$$

Laufrad-, Gehäuse- und mechanischer Wirkungsgrad bilden den Gesamtwirkungsgrad (Kupplungswirkungsgrad) der Stufe η_{St}.

Werden zusätzlich die Motorverluste berücksichtigt, so entsteht der Gesamtwirkungsgrad der Stufe inkl. Antrieb η_{St}^*.

$$\eta_{St} = \frac{P_Q}{P_D} = \eta_{Im}\eta_c\eta_m$$

P_Q: Förderleistung, siehe oben

P_D: mechanischer Leistungsbedarf (Kupplungs-, Antriebsleistung)

$$\eta_{St}^* = \frac{P_Q}{P_{el}} = \eta_{St}\eta_{mot}$$

P_{el}: elektrischer Leistungsbedarf des Motors

Die folgende Übersicht veranschaulicht die Einzelverluste und ihre Zusammenfassung:

Einteilung		**Wirkungsgrade**		**Relevant für Laufradentwurf**
Stufe	Gehäuse	η_C	casing	**ja**: für Energie-übertragung
	Laufrad	η_{tt}	flow	

© CFturbo Software & Engineering GmbH

		η_V	volumetric	**ja**: für Volumenstrom
	mechanisch	η_m	mechanical	**nein**: nur zur Information
Stufe inkl. Motor	elektrisch	η_{mot}	motor	

Der erreichbare Gesamtwirkungsgrad ist in starkem Maße von der spezifischen Drehzahl, von der Baugröße und der Bauart des Laufrades sowie von konstruktiven Besonderheiten (Entlastungseinrichtungen, Hilfsaggregate) abhängig. Die mittels Approximationsfunktionen[135] ermittelten Wirkungsgrade stellen prinzipiell erreichbare Wirkungsgrade dar und müssen korrigiert werden, wenn nähere Informationen dazu verfügbar sind.

Der Laufradwirkungsgrad η_{tt} beinhaltet die innerhalb des Laufrades durch Reibung und Verwirbelung entstehenden Strömungsverluste. Reibungsverluste entstehen durch Schubspannungen vor allem in den Grenzschichten an allen durchströmten Bauteilen. Verwirbelungsverluste treten auf durch Querschnitts- und Richtungsänderungen, Sekundärströmung, Ablösung, Fehlanströmung, Nachlaufströmung hinter den Schaufeln und durch die Turbulenz der Strömung selbst. Der Laufradwirkungsgrad ist das Verhältnis der tatsächlichen Laufradarbeit zur Laufradarbeit bei verlustloser Energieumsetzung:

$$\eta_{tt} = \frac{Y}{\tilde{Y}}$$

Der volumetrische Wirkungsgrad ist ein Maß für die Abweichung des Nutzförderstromes Q vom Gesamtförderstrom $\tilde{Q}$, der auch den im Gehäuse zirkulierenden Anteil enthält:

$$\eta_v = \frac{Q}{\tilde{Q}} \approx 0.93\ldots0.99$$ (mit der Baugröße ansteigend)

Der mechanische Wirkungsgrad umfasst im wesentlichen die Reibleistungen in den Lagern und Dichtungen:

$$\eta_m = 1 - \frac{P_m}{P} \approx 0.95...0.995$$ (mit der Baugröße ansteigend)

Für die Dimensionierung des Laufrades sind der Laufradwirkungsgrad und der volumetrische

Wirkungsgrad wegen ihres Einflusses auf bzw. maßgebend. Der mechanische Wirkungsgrad beeinflusst nur die erforderliche Antriebsleistung der Maschine.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Information

Im rechten Bereich des Registers **Parameter** sind einige Berechnungsgrößen zur **Information** dargestellt:

Erforderliche Antriebsleistung	$P_D = \frac{P_Q}{\eta_{St}}$
Leistungsverlust	$P_L = P_D - P_Q = P_D(1 - \eta_{St})$
Laufrad-Wirkungsgrad	$\eta_{lm} = \eta_{tt}\eta_v$
Stufenwirkungsgrad	$\eta_{St} = \frac{P_Q}{P_D} = \eta_{lm}\eta_m\eta_c$
Stufenwirkungsgrad inkl. Motor	$\eta_{St}^{*} = \frac{P_Q}{P_{el}} = \eta_{St}\eta_{mot}$
Wirkungsgrad total-to-static	$\eta_{ts} = \frac{\pi_t^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}\left(1 - \frac{c_2^2}{2c_pT_{tS}}\right) - 1}{\tau_t - 1}$ (Idealgas)

8.1.3.3 Hauptabmessungen (Dimensions)

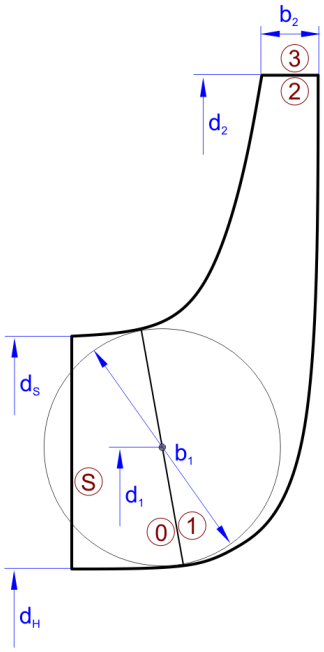
Im Register **Dimensions**, Bereich **Shaft/ hub** erfolgt die Berechnung des erforderlichen Wellendurchmessers und die Festlegung des Nabendurchmessers.

➜ Wellen-/Nabendurchmesser 261

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Die Festlegung der Hauptabmessungen (Saugmunddurchmesser d_S, Außendurchmesser d_2, Radbreite b_2) erfolgt im Bereich **Main dimensions**.

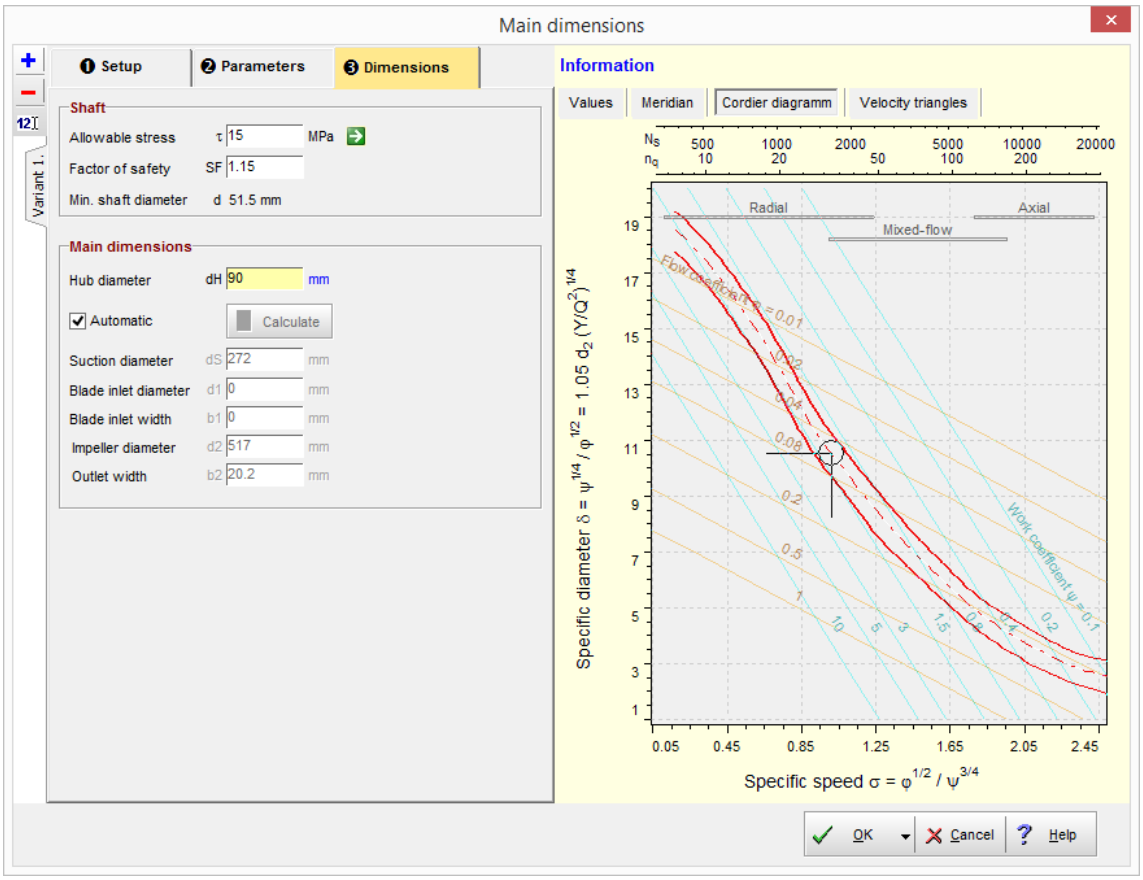
Durch Betätigen des Schalters **Calculate** kann eine Neuberechnung durchgeführt werden. Es werden die Eulersche Hauptgleichung der Turbomaschinen, die Kontinuitätsgleichung und die Beziehungen für die Geschwindigkeitsdreiecke sowie die zuvor festgelegten Parameter genutzt. Auch hier besteht die Möglichkeit, die Werte ungeändert zu übernehmen oder geringfügige Änderungen vorzunehmen (z.B. zur Einhaltung bestimmter Durchmesserstufungen).



Wird die Checkbox **Automatic** aktiviert, dann wird nach jeder Parameteränderung eine Neuberechnung durchgeführt. In diesem Fall sind manuelle Änderungen der Hauptabmessungen nicht möglich.

Prinzipiell sollte man im Hinblick auf die Baugröße möglichst geringe Werte für d_2 anstreben, wobei aber zu knapp bemessene Durchmesser – vor allem bei Radialrädern – zu sehr großen (nicht realisierbaren) Schaufelwinkeln β_2 führen.

© CFturbo Software & Engineering GmbH



Information

Im rechten Teil jedes Registers ist ein Informationsbereich vorhanden, in dem entsprechend dem aktuellen Entwurfsstatus Berechnungsgrößen, der resultierende Meridianschnitt 231 sowie das Cordier-Diagramm 232 mit der Lage der Auslegungspunktes dargestellt wird. Diese drei Bereiche werden durch Wahl des zugehörigen Softbuttons in der Kopfzeile ausgewählt und zur Anzeige gebracht.

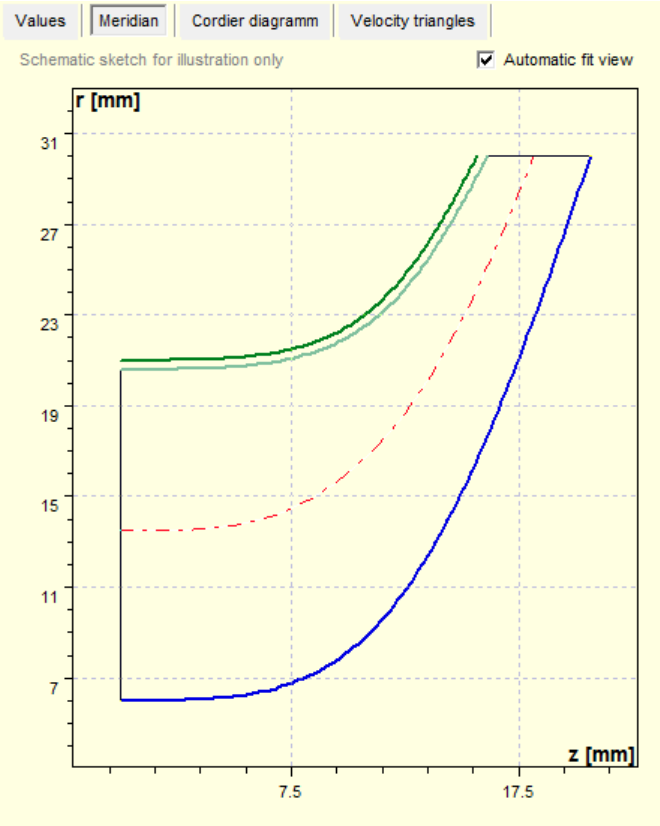
Im Informationsbereich des Registers **Dimensions** sind folgende Berechnungsgrößen zur **Information** dargestellt:

Druckzahl	
(Totale) Lieferzahl	

Meridionale Lieferzahl	$\varphi_m = \frac{Q_2}{\pi d_2 b_2 u_2} = \frac{c_{2m}}{u_2} = 0.1 \ldots 0.5$
Tangentialkraft-Beiwert	$c_t = \frac{\psi}{\eta_{tt}\,\varphi_m} \approx 3 \ldots 6$
Austritts-Breitenverhältnis	b_2/d_2 = 0.01...0.15
Mach-Zahl am Eintritt (Idealgas)	$Ma_{wS} = \frac{\sqrt{w_{mS}{}^2 + w_{uS}{}^2}}{\sqrt{\kappa R Z T_S}} \le 0.75 \ldots 0.85$
Mach-Zahl am Austritt (Idealgas)	$Ma_{c2} = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{a_{t,2}}{c_2}\right)^2 - \frac{\kappa - 1}{2}}} \le 1$
Reaktionsgrad	$r = 1 - \frac{c_2{}^2}{2Y}$
Durchmesserverhältnis	d_S/d_2
thermodynamische Größen für - Laufrad-Eintritt (Querschnitt S) - Laufrad-Austritt (Querschnitt 2)	ρ, p, T, c_m, c_u, w, u

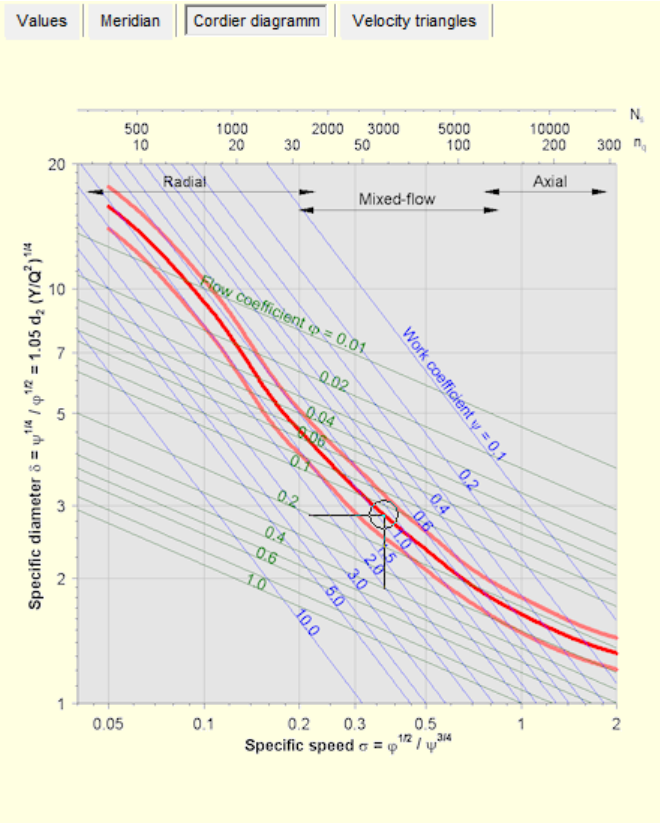
Der **Meridianschnitt** basiert auf den bis hierher entworfenen Hauptabmessungen und spiegelt die generellen Größenverhältnisse wieder.

© CFturbo Software & Engineering GmbH



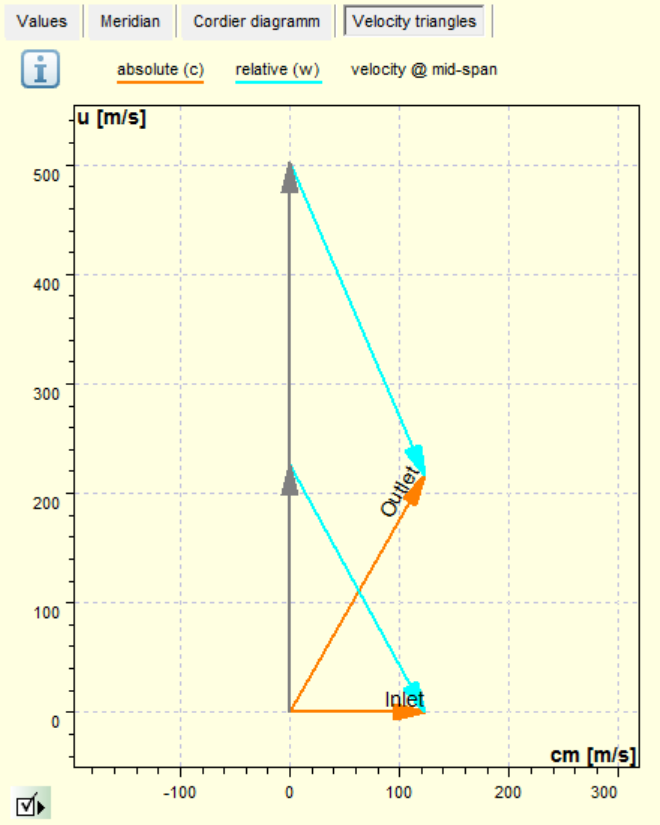
Das **Cordier-Diagramm** beruht auf der intensiven Analyse bewährter Turbomaschinen durch die Auswertung einer Vielzahl von experimentellen Daten.

© CFturbo Software & Engineering GmbH



Die Geschwindigkeitsdreiecke **(Velocity triangles)** sind die Ergebnisse einer Mittelschnittsrechnung und basieren auf dem Entwurfspunkt 67 und den bis hierher entworfenen Hauptabmessungen.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

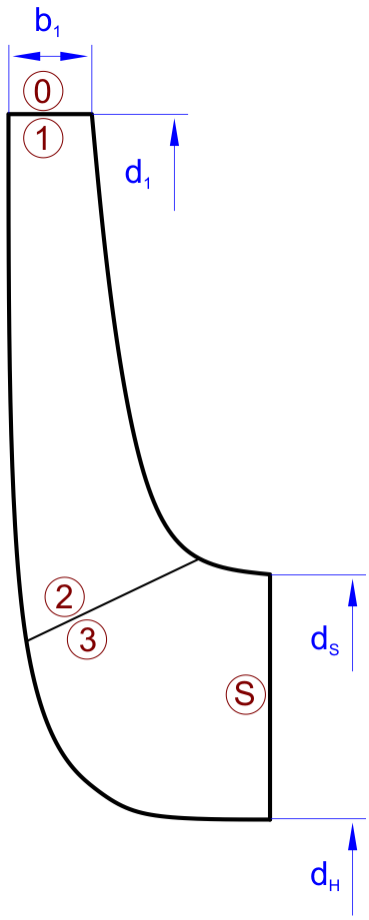


8.1.4 Radialturbine

? Rotor | Main dimensions

Der Menüpunkt **Main Dimensions** dient der Festlegung der Hauptabmessungen des Laufrades. Diese bilden die Grundlage zur konstruktiven Gestaltung einschließlich der Beschaufelung.

© CFturbo Software & Engineering GmbH



Die Strömung im Laufrad einer Turbine ist dreidimensional und hat teilweise instationären Charakter, der durch Sekundärströmung, Strömungsablösung in Grenzschichtbereichen und ähnliche Besonderheiten gekennzeichnet ist. Trotzdem ist es bei der Auslegung sinnvoll und gängige Praxis, die wirkliche Strömung auf repräsentative Stromfäden zu reduzieren (Stromfadentheorie).

Bei der eindimensionalen Betrachtung sind besonders die Querschnitte unmittelbar vor dem Beginn des Schaufelkanals (Index 0), am Ein- (1) und Austritt (2) sowie unmittelbar nach dem Ende des Schaufelkanals (3) von Bedeutung.

Der Querschnitt (S) befindet sich im Saugmund, was der Anschlussquerschnitt des auf die Turbine folgenden Bauteils ist.

Details zu

→ Setup 236

→ Parameter 237

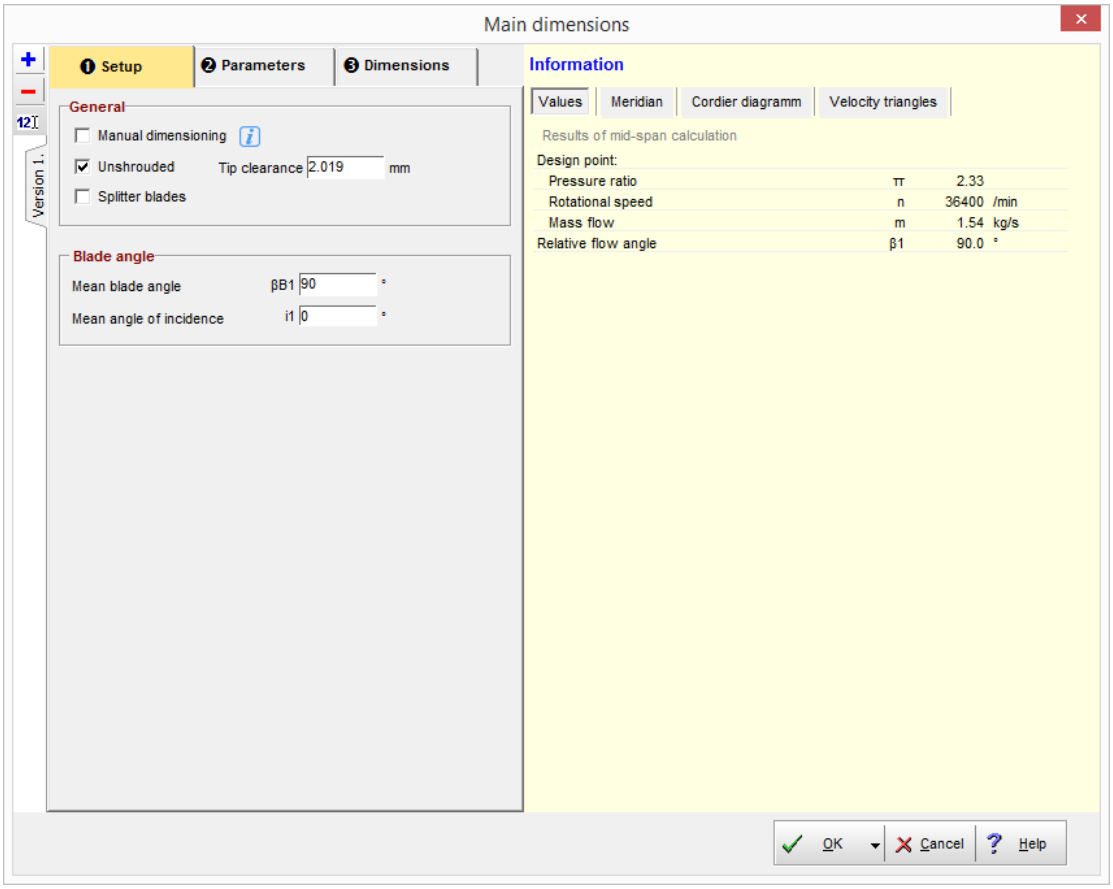
→ Hauptabmessungen (Dimensions) 242

Der Hauptabmessungsentwurf muss in einer festgelegten Reihenfolge stattfinden. Dies wird dadurch sichergestellt, dass man jeweils einen Entwurfsschritt vollständig abgeschlossen haben muss, ehe man zum nächsten übergehen kann. D.h., der Registerwechsel wird durch CFturbo solange unterbunden, bis alle notwendigen Parameter eingegeben worden sind.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

8.1.4.1 Setup

Im Registerbereich **Setup** werden einige grundlegende Einstellungen vorgenommen.



Im Bereich **General** kann festgelegt werden:

- **Manual dimensioning**
  Im Manual dimensioning Modus werden die Hauptabmessungen und Schaufelwinkel nicht von CFturbo berechnet. Diese Werte sind vielmehr Eingabewerte, die vom Nutzer festgelegt werden müssen.

  - **Splitter blades**
    Entwurf von Laufrädern mit/ohne Zwischenschaufeln (Splitter).

  - **Unshrouded**
    Ausführung als geschlossenes oder halboffenes Laufrad.
    Im Falle des halboffenen Laufrades muss die Spaltweite (**Tip clearance**) eingegeben werden.

Beim Neuentwurf eins Laufrades werden die Standardeinstellungen für einige wichtige Eigenschaften im Bereich **Initial default settings** angezeigt. Diese Einstellungen werden in den weiteren Entwurfsschritten benutzt und können über den Schalter **Change settings** geändert werden. Natürlich können diese Standardeinstellungen in den jeweiligen Entwurfsschritten auch individuell

© CFturbo Software & Engineering GmbH

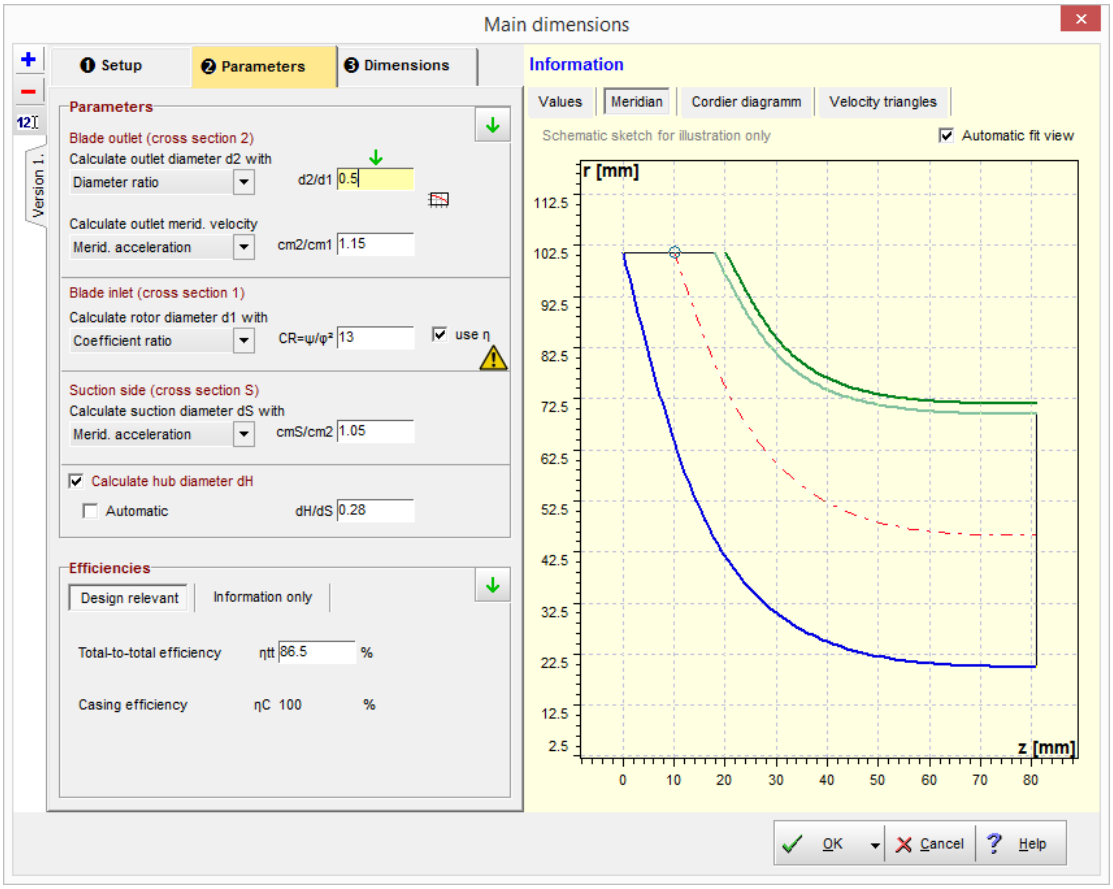
geändert werden. Mehr Informationen finden Sie unter Preferences: Impeller/ Stator settings 152.

Dem Entwurfsschritt liegt eine Mittelschnittauslegung zugrunde, weswegen auch der Schaufeleintrittswinkel bB1 sowie der Einfallwinkel i im Mittelschnitt vorgegeben werden muss. Zur Erzielung bester Wirkungsgrade sollte der Einfallwinkel im Bereich von 20..30° liegen.

Im rechten Bereich sind einige **Informationen** bezüglich des Auslegungspunktes dargestellt, wenn die Seite **Values** ausgewählt wurde (siehe Global setup 67).

8.1.4.2 Parameter

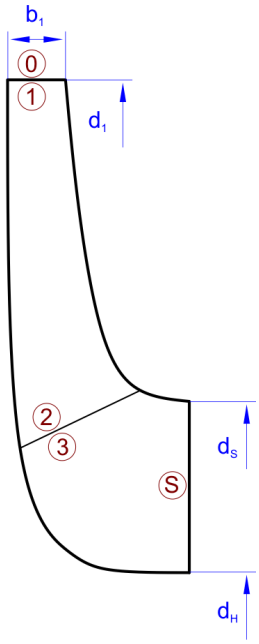
Im Register **Parameter** wird zur Eingabe von Parametern aufgefordert, deren Vorgaben aus Funktionen in Abhängigkeit von der spezifischen Drehzahl nq (siehe Approximationsfunktionen 135).



Parameters

Im Bereich **Parameters** können jeweils alternative Größen für die Berechnung der Hauptabmessungen festgelegt werden:

- Saugmunddurchmesser d_S
- Rotordurchmessers d_1
- Radbreite b_1



Details über die Handhabung der speziellen Eingabefelder für Parameter finden Sie im Kapitel Eingabefelder mit empirischen Funktionen 44.

Zur Berechnung des Rotordurchmessers d_1 muss einer der folgenden Parameter vorgegeben werden.

Energiedifferenzzahl (work coefficient) ψ	▪ dimensionsloser Ausdruck für die spezifische Arbeit $\psi = \frac{\Delta h_{is}}{u_2^2/2}$ bzw. $\psi = \frac{\Delta h}{u_2^2/2}$ ▪ groß → kleines d_1 klein → großes d_1 ▪ Richtwert ca. 2 ▪ Wenn die Option "**Use η**" gesetzt ist, wird die d_1-Berechnung auf Basis der effektiven spezifischen Enthalpie $\Delta h = \Delta h_{is} \cdot \eta$ durchgeführt. Anderenfalls wird die isentrope spezifische Enthalpie Δh_{is} benutzt.
Meridionale Durchflusszahl (meridional flow coefficient) φ_m	▪ dimensionsloser Massedurchsatz

© CFturbo Software & Engineering GmbH

	▪ entsprechend Cordier-Diagramm 246
Tangentialkraftbeiwert (tangential force coefficient) $c_t = \psi/\varphi_m$	▪ Beiwert einer in tangentiale Richtung weisenden Strömungskraft 3 ... 4 Francis-Schnellläufer 4 ... 8 Normalläufer 8 ...10 Langsamläufer
Kennzahlenverhältnis (coefficient ratio) $c_R = \psi/\varphi_m^2$	▪ Verhältnis der Energieabgabe zum Quadrat der meridionalen Geschwindigkeit 6 ...10 Francis-Schnellläufer 10...12 Normalläufer 12...30 Langsamläufer

Zwischen der Energiedifferenzzahl ψ, dem relativen Strömungswinkel β_1 und dem Tangentialkraftbeiwert ψ/φ_m besteht folgender Zusammenhang:

$$\psi = \frac{1}{\frac{1}{2} + \frac{1}{\psi/\varphi_m}\cot(\beta_1)}$$

Bei einem Strömungswinkel von β_1= 90° wird ψ=2. In diesem Fall sollte im Register **Parameters** nicht die Energiedifferenzzahl als Auslegungsparameter gewählt werden, da ansonsten über die zuletzt genannte Gleichung kein Einfluss auf die meridionale Durchflusszahl und damit den Durchfluss genommen werden kann.

Für alle weiteren geometrischen Größen sind noch einige Schätzwerte anzugeben:

Durchmesserverhältnis d_2/d_1	~0.5
Meridianbeschleunigung c_{m2}/c_{m1}	1.005..1.05
Meridianbeschleunigung saugseitig c_{mS}/c_{m2} **oder** Durchmesserverhältnis d_S/d_1	1.005..1.05 ~0.7

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Durchmesserverhältnis d_H/d_S	~0.3

Es gibt drei Modi zur Vorgabe des Durchmesserverhältnis d_H/d_S:

- Direkte Vorgabe des Verhältnisses
- Automatische Berechnung: Option "Automatic". Hierbei wird das Durchmesserverhältnis so eingestellt, dass die Richtwerte der geometrischen Verhältnisse 245 eingehalten werden.
- Direkte Vorgabe von d_H im Register **Dimensions**. Hier wird das Durchmesserverhältnis nicht benötigt.

Bei Wahl des Durchmesserverhältnis d_S/d_1 ist die Option "Automatic" deaktiviert.

Efficiency

Im Bereich **Efficiency** werden folgende Wirkungsgrade vorgegeben:

Design relevant

- Laufradwirkungsgrad η_{tt} (total-total)

Nur zur Information

- mechanischer Wirkungsgrad η_m

Der Laufrad- und der mechanische Wirkungsgrad bilden den Gesamtwirkungsgrad (Kupplungswirkungsgrad):

$$\eta_{ttSt} = \frac{P_D}{P_Q} = \eta_{tt}\eta_m$$

P_Q: Laufradleistung bei verlustloser (isentroper) Energieumsetzung

P_D: Leistungsabgabe (Kupplungs-, Achsleistung)

Der Laufradwirkungsgrad η_{tt} beinhaltet die innerhalb der Turbine durch Reibung und Verwirbelung entstehenden Strömungsverluste. Reibungsverluste entstehen durch Schubspannungen vor allem in den Grenzschichten an allen durchströmten Bauteilen. Verwirbelungsverluste treten auf durch Querschnitts- und Richtungsänderungen, Sekundärströmung, Ablösung, Fehlanströmung, Nachlaufströmung hinter den Schaufeln und durch die Turbulenz der Strömung selbst. Der Laufradwirkungsgrad ist das Verhältnis der tatsächlichen Laufradarbeit zur Laufradarbeit bei verlustloser Energieumsetzung:

© CFturbo Software & Engineering GmbH

$$\eta_{tt} = \frac{\tilde{Y}}{Y}$$

Der mechanische Wirkungsgrad umfasst im wesentlichen die Reibleistungen in den Lagern und Dichtungen:

$$\eta_m = 1 - \frac{P_m}{P} \approx 0.95...0.995$$ (mit der Baugröße ansteigend)

Information

Im rechten Bereich des Registers **Parameter** sind einige Berechnungsgrößen zur **Information** dargestellt:

tatsächliche Laufradleistung P_D	$P_D = P_Q \cdot \eta_{ttSt}$
Verlustleistung P_L	$P_L = P_Q - P_D$
Volumenstrom Q_t	mit der Ruhedichte im Austritt gebildet: $Q_t = \frac{\dot{m}}{\rho_{t2}}$
Ruhedruck im Eintritt p_{t1}	$p_{t1} = \pi \cdot p_{t2}$
Druckverhältnis total-total	π_{tt}
Druckverhältnis total-statisch	π_{ts}
Wirkungsgrad total-total	η_{ttSt}
Wirkungsgrad total-statisch	η_{ts}
Laufzahl	

In der Regel werden einstufige, einflutige Maschinen angestrebt – also ein nq-Bereich zwischen 10 und 400. Nur in Ausnahmefällen ist es erforderlich, Laufräder für extrem kleine spezifische Drehzahlen (nq < 10) zu entwerfen. Hier entstehen sehr große und schmale Laufräder, bei denen ein ungünstiges Verhältnis von Strömungsquerschnitt zu benetzter Oberfläche und damit sehr große Reibungsverluste auftreten. In diesem Fall sollte man entweder die Drehzahl n oder den

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Massenstrom ? erhöhen bzw. das Druckgefälle durch Reihenschaltung mehrerer Turbinen erhöhen. Treten im anderen Fall zu große spezifische Drehzahlen (nq > 400) auf, so kann man die Drehzahl n oder den Massenstrom ? durch Parallelschaltung mehrerer Turbinen verringern.

Hinweis: die Anwendung von CFturbo ist derzeit für einen Bereich von etwa 10 < nq < 150 vorgesehen – radiale und halbaxiale Laufräder.

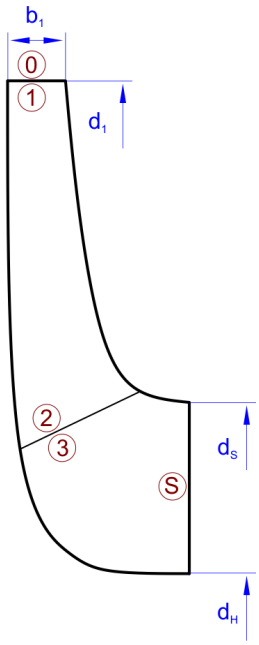
8.1.4.3 Hauptabmessungen (Dimensions)

Im Register **Dimensions** Bereich **Shaft** erfolgt die Berechnung des erforderlichen Wellendurchmessers.

➜ Wellen-/Nabendurchmesser 261

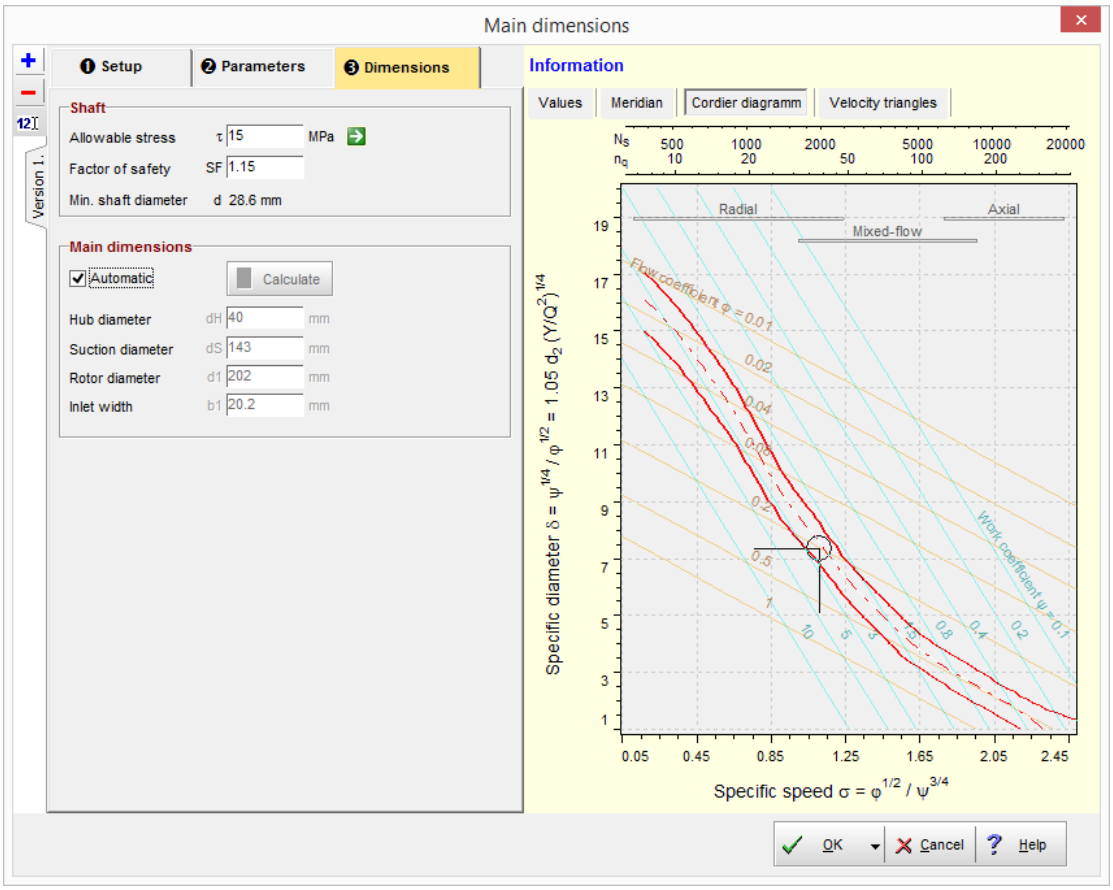
Der Nabendurchmesser wird im Bereich **Main dimensions** festgelegt.

Die Festlegung der Hauptabmessungen (Saugmunddurchmesser d_S, Außendurchmesser d_1, Radbreite b_1) erfolgt im Register **Dimensions**. Durch Betätigen des Schalters **Calculate** im Bereich **Main dimensions** kann eine Neuberechnung durchgeführt werden. Es werden die Eulersche Hauptgleichung der Turbomaschinen, die Kontinuitätsgleichung und die Beziehungen für die Geschwindigkeitsdreiecke sowie die in den Registern **Setup** und **Parameters** vorgegebenen Werte und Parameterverhältnisse genutzt. Auch hier besteht die Möglichkeit, die Werte ungeändert zu übernehmen oder geringfügige Änderungen vorzunehmen (z.B. zur Einhaltung bestimmter Durchmesserstufungen).



Wird die Checkbox **Automatic** aktiviert, dann wird nach jeder Parameteränderung eine Neuberechnung durchgeführt. In diesem Fall sind manuelle Änderungen der Hauptabmessungen nicht möglich.

© CFturbo Software & Engineering GmbH



Information

Im rechten Teil jedes Registers ist ein Informationsbereich vorhanden, in dem entsprechend dem aktuellen Entwurfsstatus Berechnungsgrößen, der resultierende Meridianschnitt 245 sowie das Cordier-Diagramm 246 mit der Lage der Auslegungspunktes dargestellt wird. Diese drei Bereiche werden durch Wahl des zugehörigen Softbuttons in der Kopfzeile ausgewählt und zur Anzeige gebracht.

Im Informationsbereich des Registers **Dimensions** sind folgende Berechnungsgrößen zur **Information** dargestellt:

spezifische Drehzahl n_q (SI-Einheiten)		dient zur Kennzeichnung des Laufradtyps (Radformkennzahl)

Spezifische Drehzahl N_S (US-Einheiten)	$N_S = n[rpm]\frac{\sqrt{Q[gpm]}}{\left(Y\left[\frac{ft^2}{s^2}\right]\frac{1}{g}\right.}$	
„Type number“ ω_s (ISO 2548)	$\omega_S = 2\pi n\frac{\sqrt{Q}}{Y^{3/4}} = \frac{n_q}{52.9}$	
Schnelllaufzahl σ	$\sigma = 2.1078 \cdot n\frac{\sqrt{Q}}{Y^{3/4}} = \frac{}{1}$	Bereich: 0.16..0.32. Dieser Richtwert sollte im Entwurf eingehalten werden.
Energiedifferenzzahl (work coefficient)	$\psi = \frac{2 \cdot Y \cdot \eta_{tt}}{u_1^2}$	
Eintrittsdruck, -temperatur und -dichte	p_1, T_1, ρ_1, p_{t1}, T_{t1}, ρ_{t1}	statische und Ruhegrößen
Eintrittsgeschwindigkeiten	c_1, c_{u1}, c_{m1}, w_1	
Eintritts-Umfangsgeschwindigkeit	$u_1 = \sqrt{\frac{\psi}{2 \cdot Y \cdot \eta_{tt}}}$	
Umfangs-Mach-Zahl	$M_1 = \frac{u_1}{a_1}$	
Laufradeintrittsbreite	b_1^*	
Austrittsdruck, -temperatur und -dichte	p_2, T_2, ρ_2, p_{t2}, T_{t2}, ρ_{t2}	statische und Ruhegrößen
Austrittsgeschwindigkeiten	c_2, c_{u2}, c_{m2}, w_2	
Austritts-Umfangsgeschwindigkeit		
Austritts-Mach-Zahl		

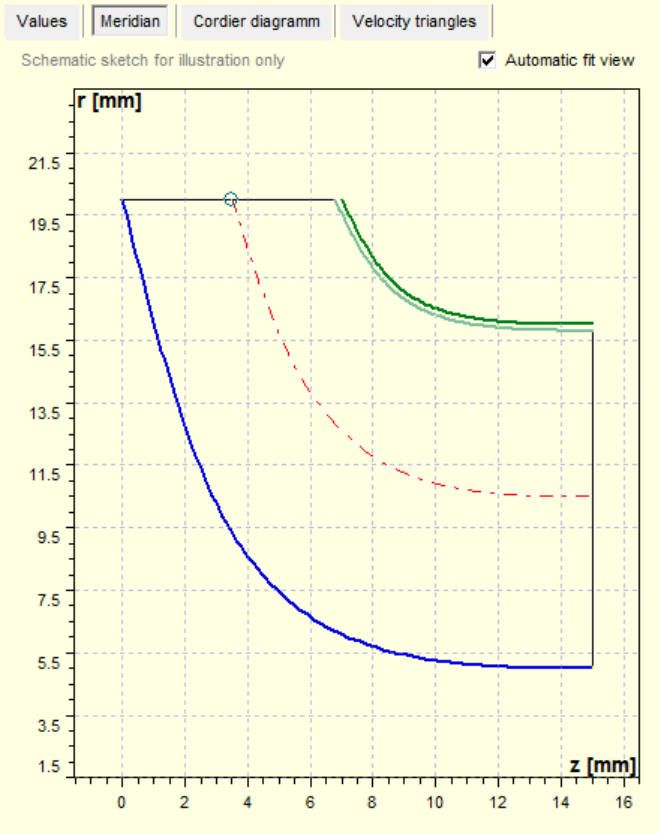
© CFturbo Software & Engineering GmbH

Mittlerer Austrittsdurchmesser	$d_2 = \left(\frac{d_2}{d_1}\right) d_1$	
Austrittsbreite	$b_2 = 1.025 \frac{\dot{m}}{\pi d_2 \cdot c_{m2} \cdot \rho}$	
Verhältnis Breite-Durchmesser im Eintritt	b_1/d_1	Richtwert: 0.05..0.15
Durchmesserverhältnis	d_2/d_{2min} mit: $d_{2min} = \sqrt{\frac{1}{2}\left(d_S^2 - d_N^2\right)}$	Richtwert: 1.005..1.05
Verhältnis Radius-Breite im Austritt	$\frac{(r_S - r_N)}{b_2} = \frac{(d_S - d_N)}{2 \cdot b_2}$	Richtwert: 1.005..1.05

Die in der letzten Spalte der letzten drei Zeilen angegebenen Richtwerte solten im Entwurf eingehalten werden.

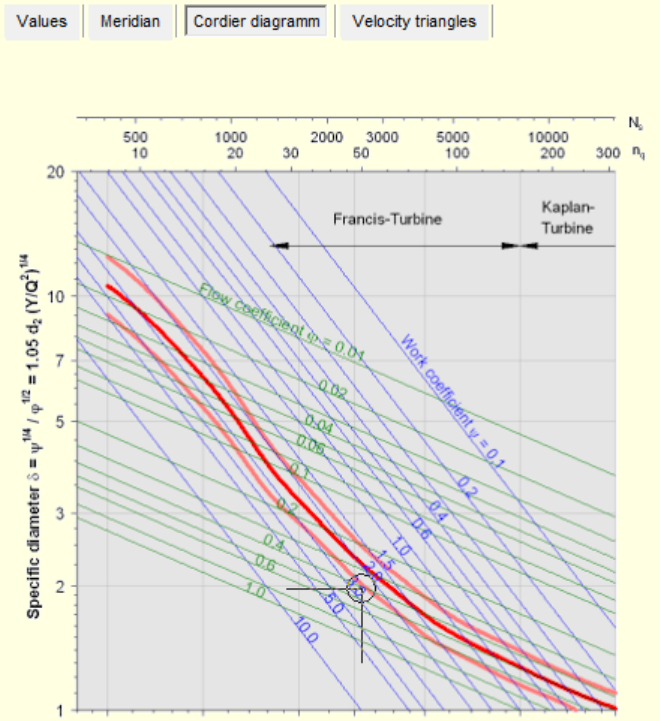
Der **Meridianschnitt** basiert auf den bis hierher entworfenen Hauptabmessungen und spiegelt die generellen Größenverhältnisse wieder.

© CFturbo Software & Engineering GmbH



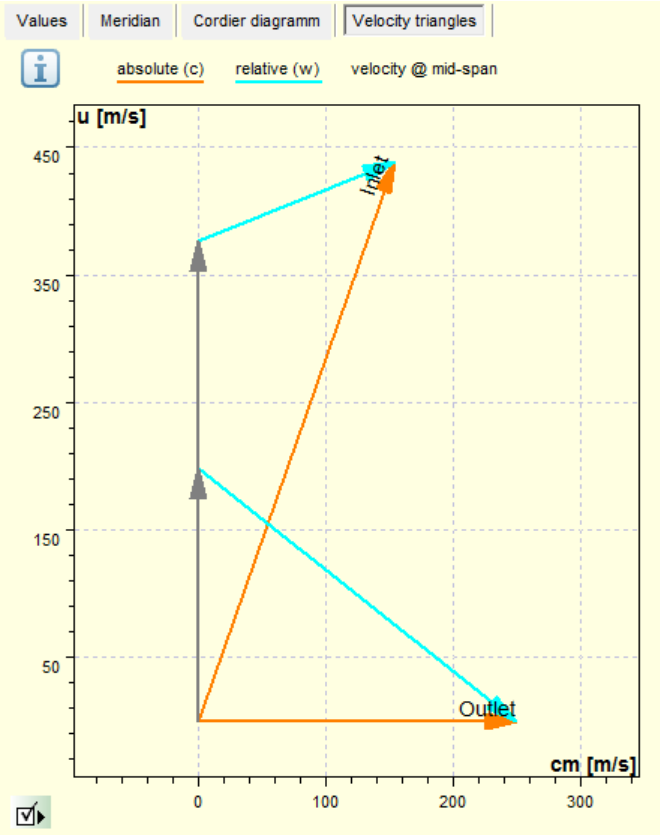
Das **Cordier-Diagramm** beruht auf der intensiven Analyse bewährter Turbomaschinen durch die Auswertung einer Vielzahl von experimentellen Daten.

© CFturbo Software & Engineering GmbH



Die Geschwindigkeitsdreiecke **(Velocity triangles)** sind die Ergebnisse einer Mittelschnittsrechnung und basieren auf dem Entwurfspunkt 67 und den bis hierher entworfenen Hauptabmessungen.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

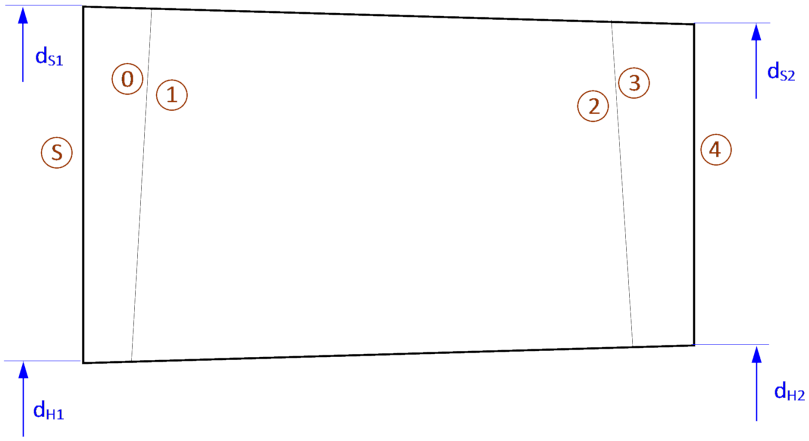


8.1.5 Axialturbine

? Rotor | Main dimensions

Der Menüpunkt **Main Dimensions** dient der Festlegung der Hauptabmessungen des Laufrades. Diese bilden die Grundlage zur konstruktiven Gestaltung einschließlich der Beschaufelung.

© CFturbo Software & Engineering GmbH



Die Strömung im Rotor einer Turbine ist dreidimensional und hat teilweise instationären Charakter, der durch Sekundärströmung, Strömungsablösung in Grenzschichtbereichen und ähnliche Besonderheiten gekennzeichnet ist. Trotzdem ist es bei der Auslegung sinnvoll und gängige Praxis, die wirkliche Strömung auf repräsentative Stromfäden zu reduzieren (Stromfadentheorie).

Bei der eindimensionalen Betrachtung sind besonders die Querschnitte im Eintritt (S), unmittelbar vor dem Beginn des Schaufelkanals (Index 0), am Ein- (1) und Austritt (2) sowie unmittelbar nach dem Ende des Schaufelkanals (3) sowie im Austritt (4) von Bedeutung.

Details

→ Setup 250

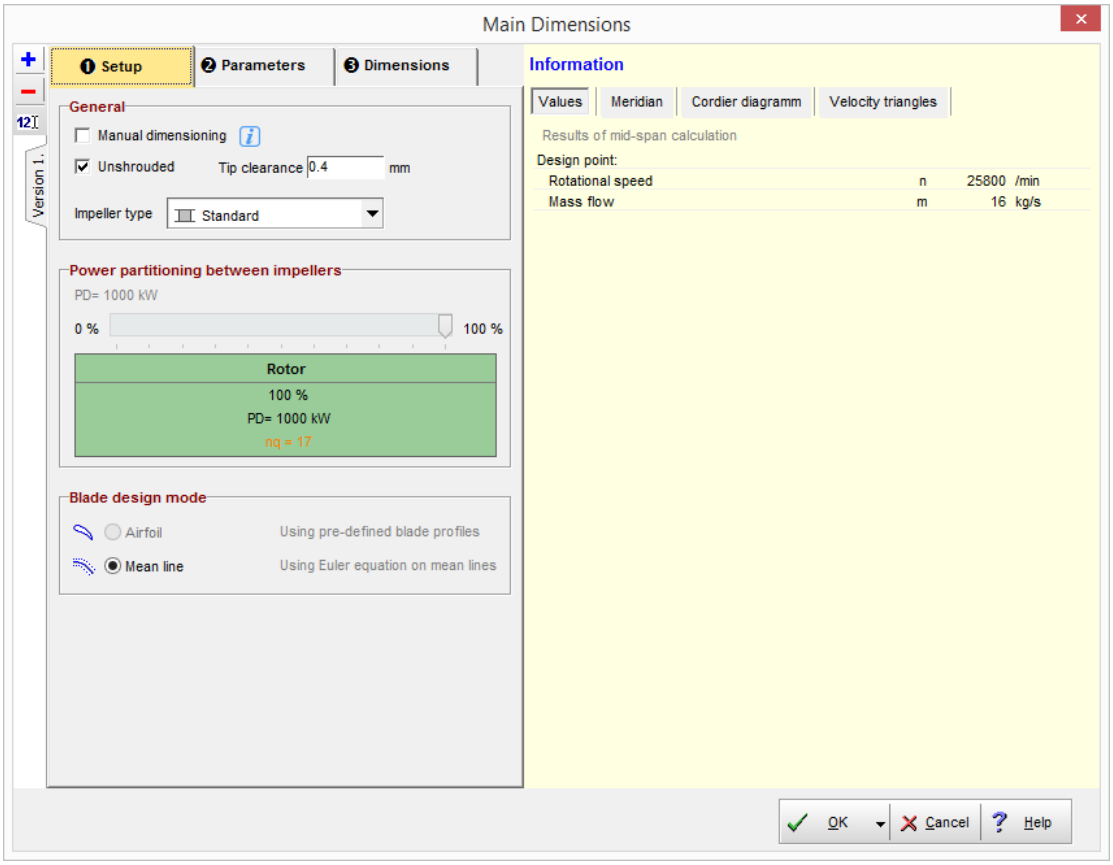
→ Parameters 252

→ Dimensions 255

© CFturbo Software & Engineering GmbH

8.1.5.1 Setup

Im Registerbereich **Setup** werden einige grundlegende Einstellungen vorgenommen.



Im Bereich **General** kann festgelegt werden:

- **Manual dimensioning**
  Entwurf von Laufrädern mit/ohne Zwischenschaufeln (Splitter).

- **Unshrouded**
  Ausführung als geschlossenes oder halboffenes Laufrad.
  Im Falle des halboffenen Laufrades muss die Spaltweite (**Tip clearance**) eingegeben werden.

- **Impeller type**
  Auswahl von Rotortyp **Standard** oder **Rocket engine**.

Im Fall des Vorliegens von mehr als einem Laufrad im Projekt muss der Entwurfspunkt 67 (Leistung, Druckverhältnis) unter allen Laufrädern mittels power partitioning aufgeteilt werden. Das Entwurfsziel für die Energieübertragung für das ausgewählte Laufrad (mit dem Index i) wird bestimmt mit:

.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Wenn im Global setup 67 eine Druckverhältnis als Entwurfsziel für die Energieübertragung festgelegt wurde, dann wird das Druckverhältnis des ausgewählten Laufrades bestimmt mit:

$$\pi_i = \frac{\pi}{\prod_{j \neq i} \pi_j}$$

.

Zur Zeit ist nur folgender **Blade design mode** verfügbar:

- **Mean line** 287
  Entwurf entsprechend mean line Entwurfstheorie.

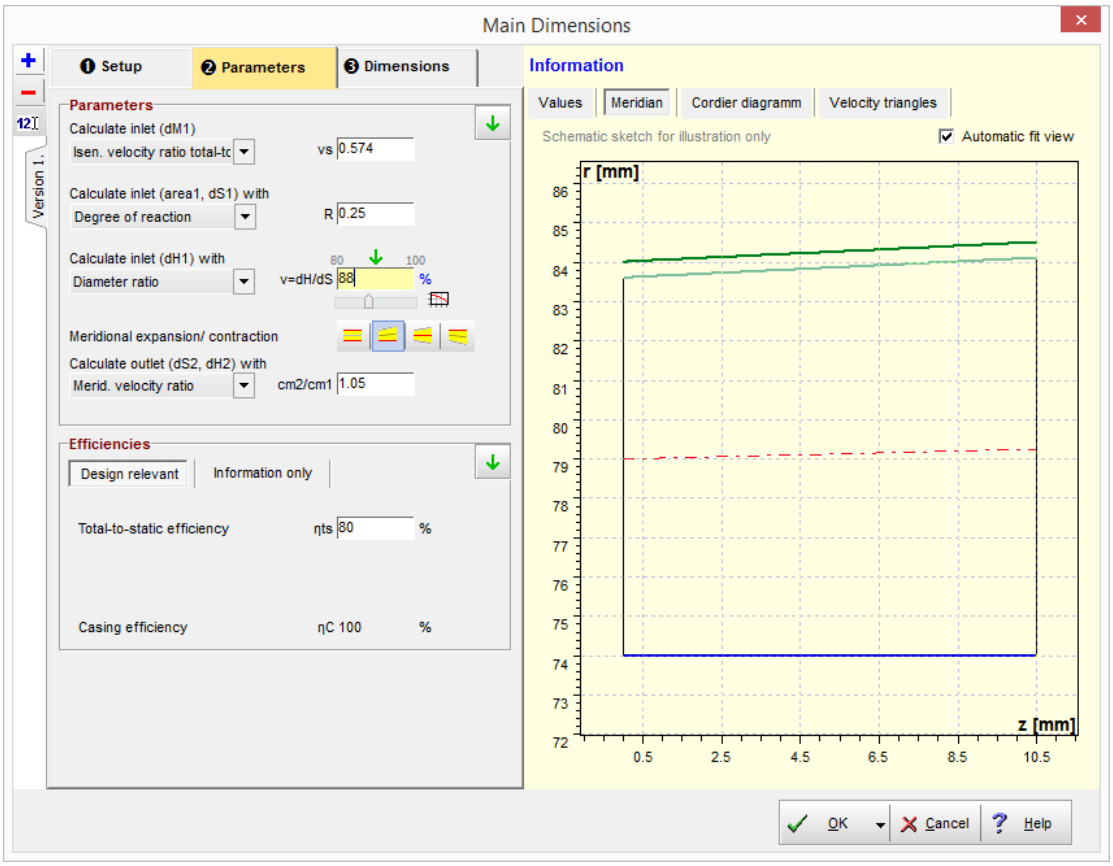
Beim Neuentwurf eins Laufrades werden die Standardeinstellungen für einige wichtige Eigenschaften im Bereich **Initial default settings** angezeigt. Diese Einstellungen werden in den weiteren Entwurfsschritten benutzt und können über den Schalter **Change settings** geändert werden. Natürlich können diese Standardeinstellungen in den jeweiligen Entwurfsschritten auch individuell geändert werden. Mehr Informationen finden Sie unter Preferences: Impeller/ Stator settings 152.

Im rechten Bereich sind einige **Informationen** bezüglich des Auslegungspunktes dargestellt, wenn die Seite **Values** ausgewählt wurde (siehe Global setup 67).

© CFturbo Software & Engineering GmbH

8.1.5.2 Parameter

Im Register **Parameter** wird zur Eingabe von Parametern aufgefordert, deren Vorgaben aus Funktionen in Abhängigkeit von der spezifischen Drehzahl nq (siehe Approximationsfunktionen 135).

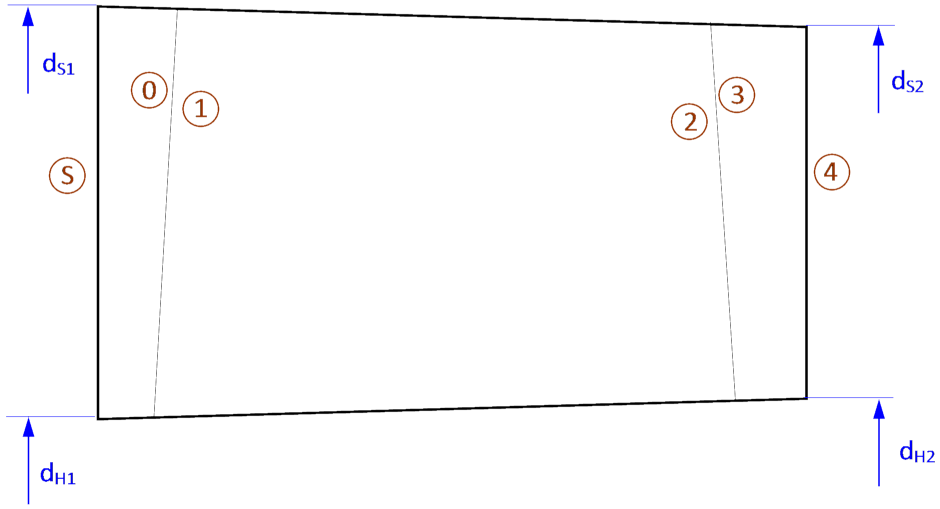


Parameters

Im Bereich **Parameters** können jeweils alternative Größen für die Berechnung der folgenden Hauptabmessungen festgelegt werden:

Eintritt	Austritt
d_{S1}, d_{H1}	d_{S2}, d_{H2}

© CFturbo Software & Engineering GmbH



Details über die Handhabung der speziellen Eingabefelder für Parameter finden Sie im Kapitel Eingabefelder mit empirischen Funktionen [44].

Mit Hilfe der folgenden Parameter kann der Eintrittsquerschnitt des Rotors berechnet werden.

Laufzahl ν_{is}	Mittlerer Eintrittsdurchmesser $0.5(d_{S1}+d_{H1})$ $\nu_{ts} = \frac{u_1}{\sqrt{2\Delta h_{ttis}}} = \frac{\pi \cdot n \cdot d_{M1}}{\sqrt{2\Delta h_{ttis}}}$
Reaktionsgrad R	Eintrittsdurchmesser außen d_{S1} $R = \frac{\Delta h}{\Delta h_{tt}}$
Umfangskomponente der Absolutgeschwindigkeit c_{u2}	Eintrittsdurchmesser außen d_{S1}
Durchmesserverhältnis d_H/d_S	Eintrittsdurchmesser innen d_{H1}

Der Austrittsquerschnitt des Rotors kann berechnet werden mit:

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Meridionales Geschwindigkeitsverhältnis c_{m2}/c_{m1}	0.9..1.1 rein axial $d_{H2} = d_{H1}$ und $d_{S2} = d_{S1}$ konst. Hub $d_{H2} = d_{H1}$ konst. Mitte $d_{M2} = d_{M1}$ konst. Shroud $d_{S2} = d_{S1}$

Efficiency

Im Bereich **Efficiency** werden folgende Wirkungsgrade vorgegeben:

Design relevant

- Rotorwirkungsgrad η_{ts} (total-static)

Nur zur Information

- Mechanischer Wirkungsgrad η_m

Der Laufrad- und der mechanische Wirkungsgrad bilden den Gesamtwirkungsgrad (Kupplungswirkungsgrad):

$$\eta_{ttSt} = \frac{P_D}{P_Q} = \eta_{tt}\eta_m$$

P_Q: Laufradleistung bei verlustloser (isentroper) Energieumsetzung

P_D: Leistungsabgabe (Kupplungs-, Achsleistung)

Der Laufradwirkungsgrad η_{ts} beinhaltet die innerhalb der Turbine durch Reibung und Verwirbelung entstehenden Strömungsverluste. Reibungsverluste entstehen durch Schubspannungen vor allem in den Grenzschichten an allen durchströmten Bauteilen. Verwirbelungsverluste treten auf durch Querschnitts- und Richtungsänderungen, Sekundärströmung, Ablösung, Fehlanströmung, Nachlaufströmung hinter den Schaufeln und durch die Turbulenz der Strömung selbst. Der Laufradwirkungsgrad ist das Verhältnis der tatsächlichen Laufradarbeit zur Laufradarbeit bei verlustloser Energieumsetzung, ausgedrückt durch spezifische Enthalpiedifferenzen:

Der mechanische Wirkungsgrad umfasst im wesentlichen die Reibleistungen in den Lagern und Dichtungen:

(mit der Baugröße ansteigend)

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Information

Im rechten Bereich des Registers **Parameter** sind einige Berechnungsgrößen zur **Information** dargestellt:

Kupplungsgleistung P_D	$P_D = P_Q \cdot \eta_{ttSt}$
Volumenstrom P_L	$P_L = P_Q - P_D$
Ruhevolumenstrom Q_t	berechnet mit der Ruhedichte am Austritt: $Q_t = \frac{\dot{m}}{\rho_{t2}}$
Druckverhältnis total-total	π_{tt}
Druckverhältnis total-statisch	π_{ts}
Wirkunsgrad total-total	η_{tt}
Wirkunsgrad total-statisch	η_{ts}
Laufzahl	$\nu_{ts} = \frac{u_1}{\sqrt{2\Delta h_{ttis}}}$

In der Regel werden einstufige, einflutige Maschinen angestrebt – also ein nq-Bereich zwischen 10 und 400. Treten zu große spezifische Drehzahlen (nq > 400) auf, so kann man die Drehzahl n oder den Massenstrom ? durch Parallelschaltung mehrerer Turbinen verringern.

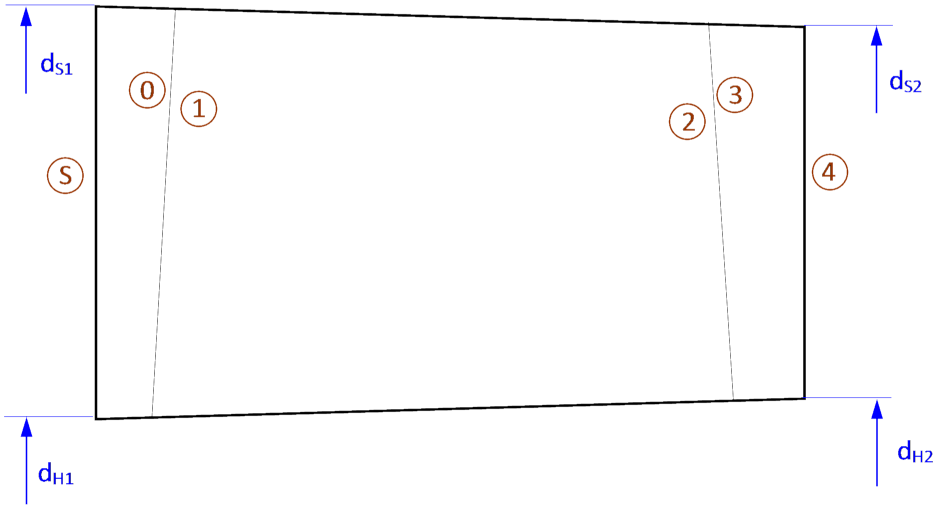
Hinweis: die Anwendung von CFturbo ist derzeit für einen Bereich von etwa 100 < nq < 400 vorgesehen – axiale Laufräder.

8.1.5.3 Hauptabmessungen (Dimensions)

Die Festlegung der Hauptabmessungen (-Eintrittsdurchmesser d_{S1} und d_{H1} und Austrittsdurchmesser d_{S2} und d_{H2}) erfolgt im Bereich **Main dimensions**. Durch Betätigen des Schalters **Calculate** kann eine Neuberechnung durchgeführt werden. Es werden die Eulersche Hauptgleichung der Turbomaschinen, die Kontinuitätsgleichung und die Beziehungen für die Geschwindigkeitsdreiecke sowie die zuvor festgelegten Parameter genutzt.

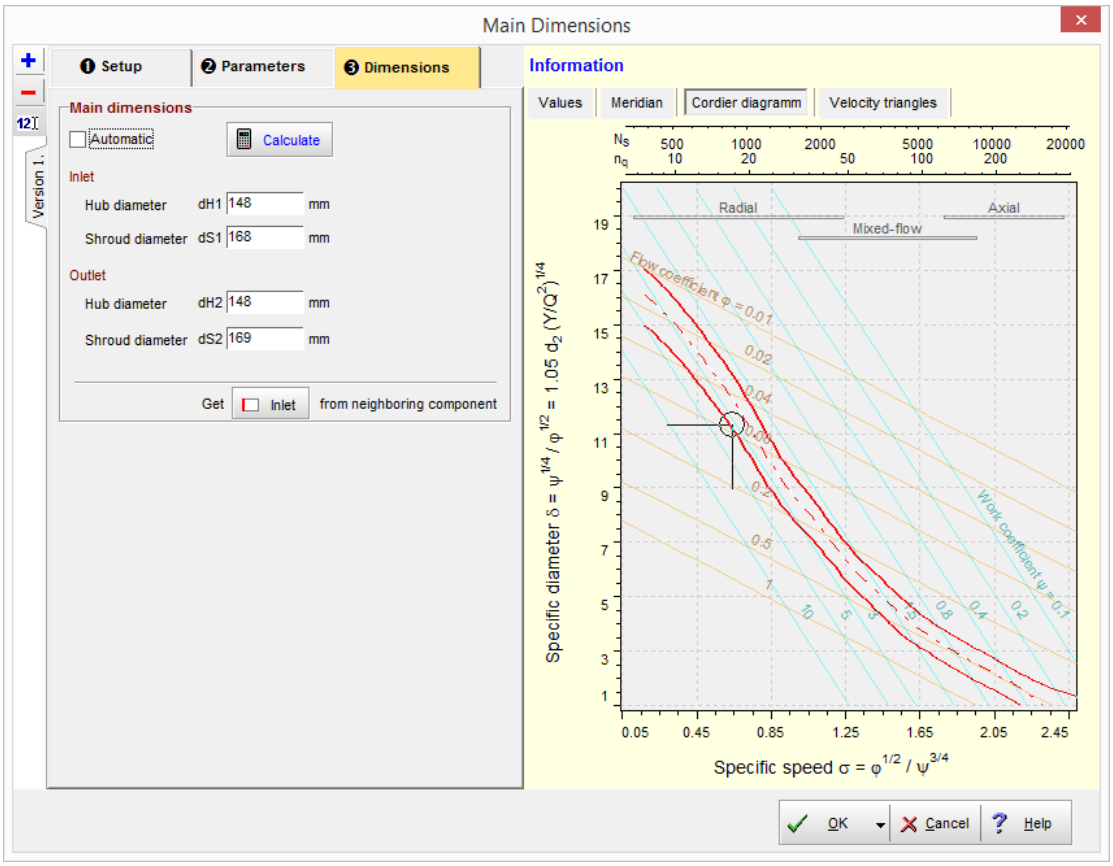
© CFturbo Software & Engineering GmbH

Auch hier besteht die Möglichkeit, die Werte ungeändert zu übernehmen oder geringfügige Änderungen vorzunehmen (z.B. zur Einhaltung bestimmter Durchmesserstufungen).



Wird die Checkbox **Automatic** aktiviert, dann wird nach jeder Parameteränderung eine Neuberechnung durchgeführt. In diesem Fall sind manuelle Änderungen der Hauptabmessungen nicht möglich.

© CFturbo Software & Engineering GmbH



Information

Im rechten Teil jedes Registers ist ein Informationsbereich vorhanden, in dem entsprechend dem aktuellen Entwurfsstatus Berechnungsgrößen, der resultierende Meridianschnitt 196 sowie das Cordier-Diagramm 196 mit der Lage der Auslegungspunktes dargestellt wird. Diese drei Bereiche werden durch Wahl des zugehörigen Softbuttons in der Kopfzeile ausgewählt und zur Anzeige gebracht.

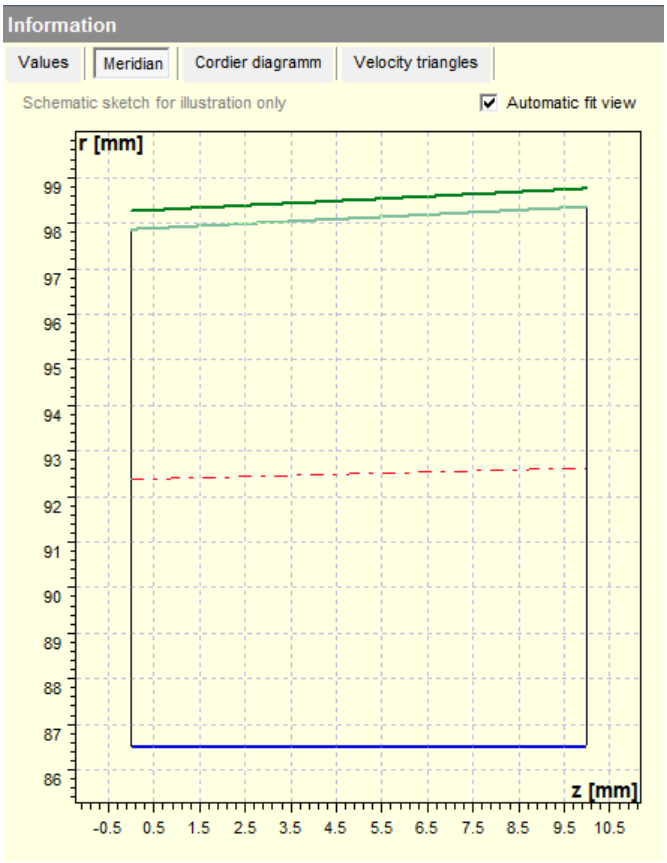
Im Informationsbereich des Registers **Dimensions** sind folgende Berechnungsgrößen zur **Information** dargestellt, die sich aus den berechneten bzw. festgelegten Hauptabmessungen ergeben:

Energiedifferenzzahl (work coefficient)		
Durchmesserzahl		

Schnelllaufzahl	$\sigma = 2.1078 \cdot n \frac{\sqrt{Q}}{Y^{3/4}} = \frac{}{1}$	
Eintrittsdruck, -temperatur und -dichte	p_1, T_1, ρ_1, p_{t1}, T_{t1}, ρ_{t1}	statische und totale Werte
Eintrittsgeschwindigkeiten	c_1, c_{u1}, c_{m1}, w_1, u_1	
Eintritts-Mach-Zahl	$M_1 = \frac{u_1}{a_1}$	
Austrittsdruck, -temperatur und -dichte	p_2, T_2, ρ_2, p_{t2}, T_{t2}, ρ_{t2}	statische und totale Werte
Austrittsgeschwindigkeiten	c_2, c_{u2}, c_{m2}, w_2, u_2	
Austritts-Mach-Zahl	$M_2 = \frac{c_2}{a_2}$	

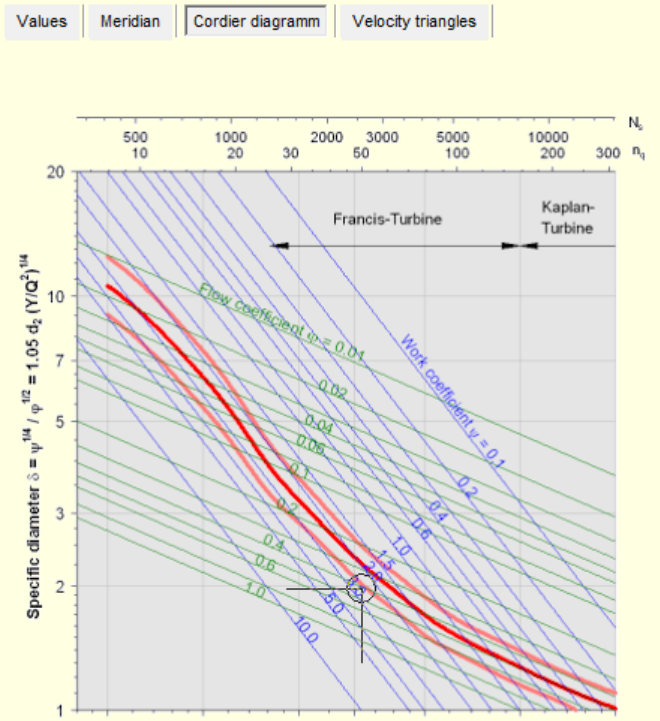
Der **Meridianschnitt** basiert auf den bis hierher entworfenen Hauptabmessungen und spiegelt die generellen Größenverhältnisse wieder.

© CFturbo Software & Engineering GmbH



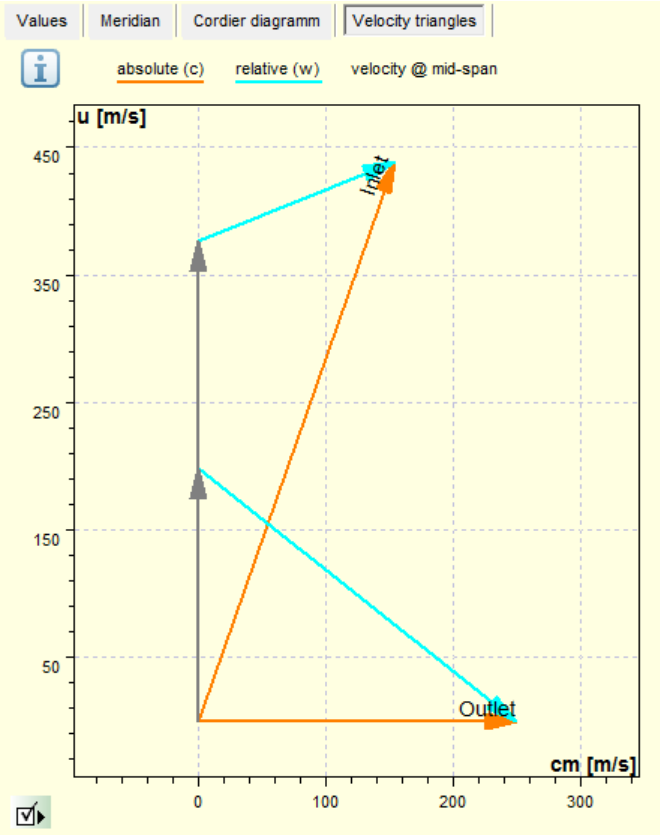
Das **Cordier-Diagramm** beruht auf der intensiven Analyse bewährter Turbomaschinen durch die Auswertung einer Vielzahl von experimentellen Daten.

© CFturbo Software & Engineering GmbH



Die Geschwindigkeitsdreiecke **(Velocity triangles)** sind die Ergebnisse einer Mittelschnittsrechnung und basieren auf dem Entwurfspunkt 67 und den bis hierher entworfenen Hauptabmessungen.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

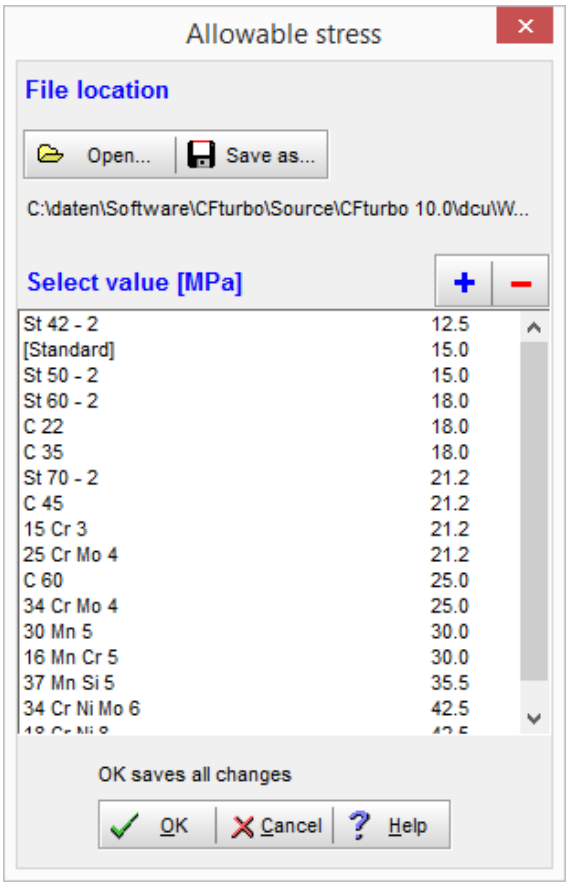


8.1.6 Wellen-/Nabendurchmesser (Shaft/Hub)

Die Dimensionierung des Wellendurchmessers erfolgt unter Berücksichtigung von Festigkeitsanforderungen und ergibt sich aus dem durch die Welle zu übertragenden Drehmoment $M=P/\omega$ und der zulassigen Torsionsspannung τ.

Die zulässige Torsionsspannung kann direkt eingetragen werden oder aus einer Liste ausgewählt werden. Dazu betätigt man den Schalter rechts neben dem Eingabefeld.

© CFturbo Software & Engineering GmbH



Der daraufhin erscheinende Dialog listet eine Reihe von Werkstoffen mit den entsprechenden Zahlenwerten für die zulässige Torsionsspannung auf.

Die Liste kann durch die Schalter + und − erweitert bzw. verkleinert werden. Durch Betätigen des **OK**-Schalters kann der markierte Wert übernommen werden.

Im Bereich **File location** wird der Name der Datei angezeigt, die die Materialkennwerte enthält. Standardmäßig heißt diese Datei **Stress.cftst** und befindet sich im Installationsverzeichnis von CFturbo®. Änderungen an der Liste werden automatisch gespeichert, wenn man den Dialog durch Betätigen des **OK**-Schalters verlässt. Sind keine Schreibrechte vorhanden, erscheint ein entsprechender Hinweis und man hat die Möglichkeit, einen alternativen Speicherort auszuwählen. Dateiname und Verzeichnis können auch explizit geändert werden, indem man den Schalter **Save as...** betätigt. Mit dem Schalter **Open...** kann eine entsprechende Datei geöffnet werden.

Zur Berücksichtigung der erhöhten Belastung bei Abweichungen vom Nennpunkt kann ein Sicherheitsfaktor SF vorgegeben werden, der zu einem veränderten Wellendurchmesser d führt.

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{8\rho QY \cdot SF}{\pi^2 n \tau \eta}}$$

Der Nabendurchmesser d_H wird in der Regel so klein wie konstruktiv möglich gewählt und ist von der Art der Verbindung von Nabe und Welle abhängig.

8.2 Meridianschnittkontur

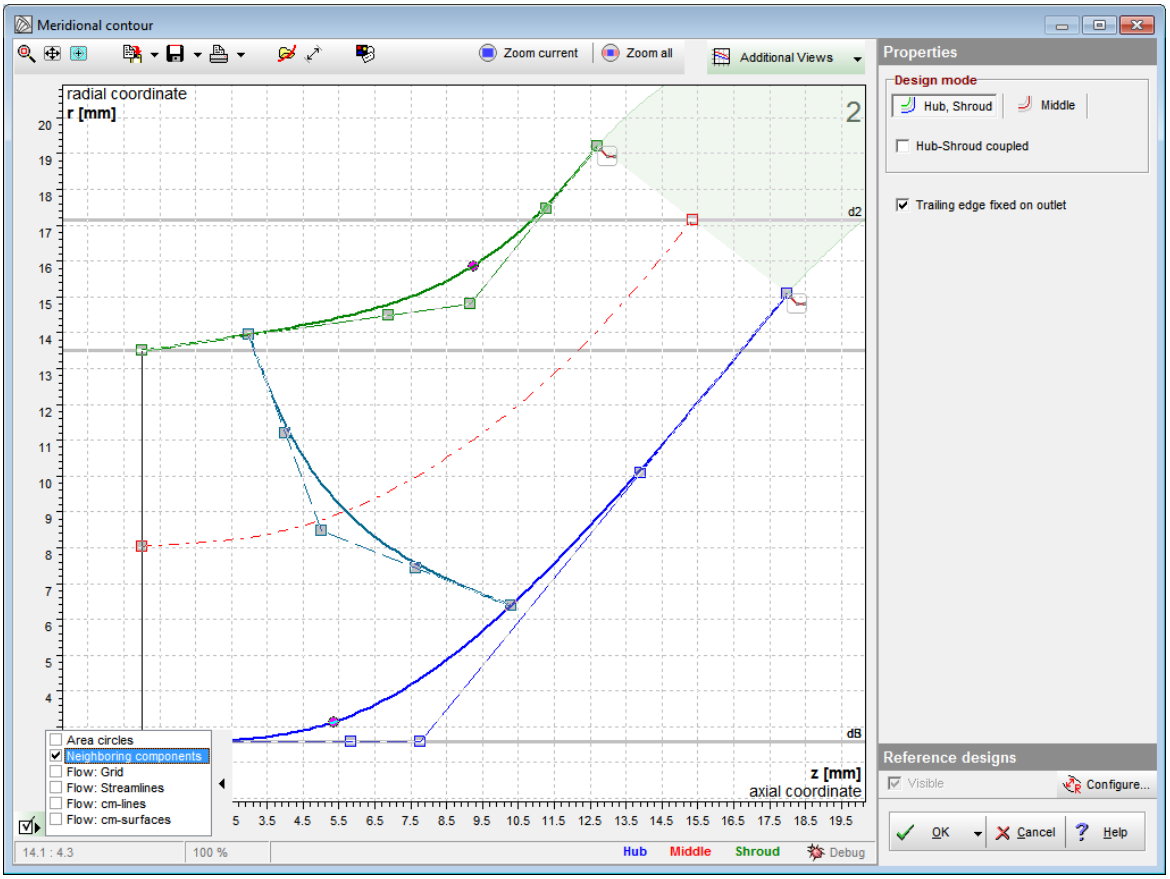
? Impeller | Meridional contour

Die Gestaltung der Meridianschnittkontur ist der zweite Hauptschritt bei der Laufradauslegung.

Grafische Elemente können zusätzlich zur Benutzung der Maus durch den Aufruf von Kontextmenüs

© CFturbo Software & Engineering GmbH

bearbeitet werden. Dazu ist ein Rechtsklick auf das entsprechende Element nötig. So können z.B. die Art der Eintrittskanten verändert oder Koordinaten von Bezier-Punkten eingegeben werden.



Design Mode

Es bestehen 2 unterschiedliche Möglichkeiten zur Festlegung der Trag- und Deckscheibenkontur, die im rechten Dialogteil im Bereich **Design mode** gewählt werden:

Hub, Shroud direkte Festlegung der beiden Konturen

Middle Festlegung des Mittellinienverlaufs; Konturen ergeben sich aus vorgegebenen Querschnittsflächen-Verlauf zwischen Saugmund- (d_S) und Austrittsquerschnitt (d_2)

Im ersten Fall können Trag- und Deckscheibe sowohl separat als auch gekoppelt gestaltet werden. Ist das Schaltfeld **Hub-Shroud coupled** markiert, so werden Trag- und Deckscheibe gleichzeitig mit derselben relativen Lage der Bezierpunkte verändert.

Im zweiten Fall wird nur die geometrische Mittellinie des Strömungskanals festgelegt. Die Konturen ergeben sich durch Vorgabe eines relativen Querschnitts-Verlaufes. Dieser kann entweder linear sein oder als beliebiger Verlauf aus einer Datei geladen werden.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

```
# Querschnitts-Verlauf
# Anfang/Ende tangential,
# im Mittelteil linear
# (Spline-Interpolation 9 Punkte)
0.00 0.00000
0.04 0.01728
0.08 0.03830
0.12 0.06368
0.16 0.09404
0.20 0.13000
0.24 0.17164
0.28 0.21687
0.32 0.26314
0.36 0.31018
0.40 0.36000
0.44 0.41404
0.48 0.47102
0.52 0.52898
0.56 0.58596
0.60 0.64000
0.64 0.68982
0.68 0.73686
0.72 0.78313
0.76 0.82836
0.80 0.87000
0.84 0.90596
0.88 0.93632
0.92 0.96170
0.96 0.98272
1.00 1.00000
```

Nebenstehend ist ein Beispiel für eine solche Datei dargestellt.

Zeilen, die mit dem Symbol # beginnen, sind Kommentare. Alle anderen Zeilen enthalten die Zahlenwerte. Der erste Wert jeder Zeile ist die relative meridionale Koordinate x entlang der Mittellinie, wobei x=0 den Eintritts- und x=1 den Austrittsquerschnitt darstellt. Der zweite Wert repräsentiert die relative Querschnittsfläche A_{rel}, womit sich der entsprechende Absolutwert berechnen lässt:

$$A = A_{in} + A_{rel}\left(A_{out} - A_{in}\right)$$

Mit der berechneten Querschnittsfläche lässt sich die meridionale Breite senkrecht zur Strömungsrichtung bestimmen.

Diese Vorgehensweise ist vor allem für halbaxiale Laufräder geeignet, weniger für radiale Laufräder mit relativ scharfer Umlenkung von der axialen in die radiale Richtung.

Trailing edge fixed on ...

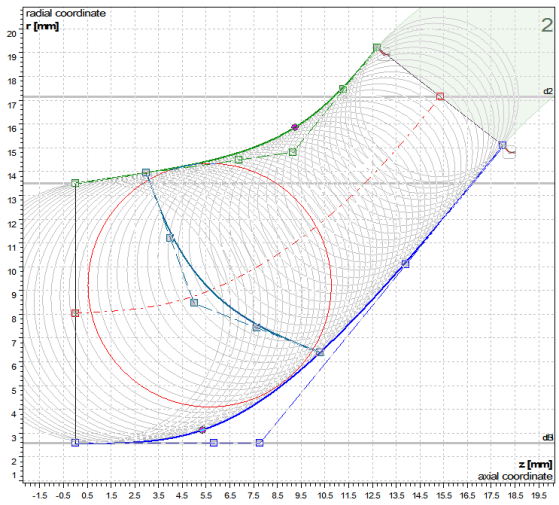
Die Hinterkante (Turbine: Vorderkante) der Schaufel ist fixiert an der meridionalen Austrittskante (Turbine: Eintrittskante) und kann nicht wie die Vorderkante (Turbine: Hinterkante) verändert werden.

Ist diese Option deaktiviert, so wird die Schaufel-Hinterkante (Turbine: -Vorderkante) vom meridionalen Austritt (Turbine: Eintritt) gelöst und kann unabhängig von diesem entworfen werden.

Display Options

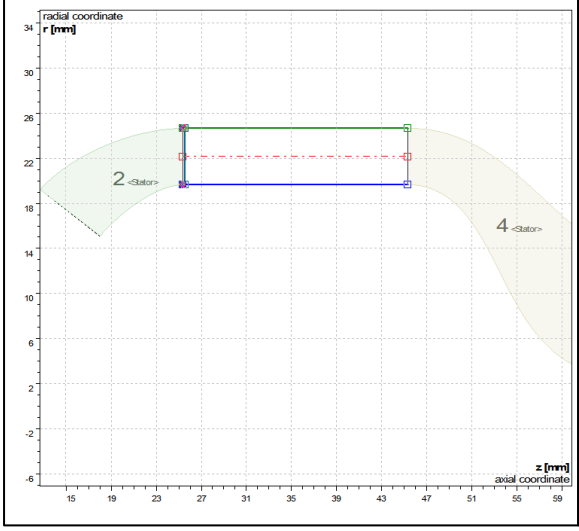
Im Bereich **Display Options** können einige graphische Darstellungen zur Veranschaulichung aktiviert werden:

© CFturbo Software & Engineering GmbH



Area circles

Kreise für die Berechnung der Querschnittsfläche

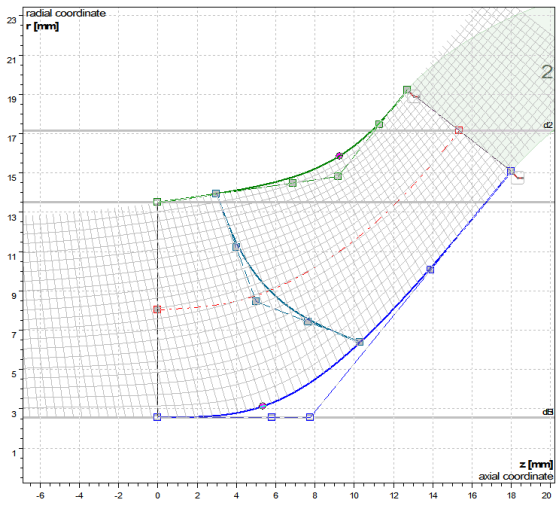


Neighboring components

Auf der Eintritts- und Austrittsseite werden die benachbarten Komponenten informativ mit dargestellt.

Mit Hilfe dieser Schalter kann gezoomt werden auf die derzeitige Meridianform oder die Gesamtgeometrie.

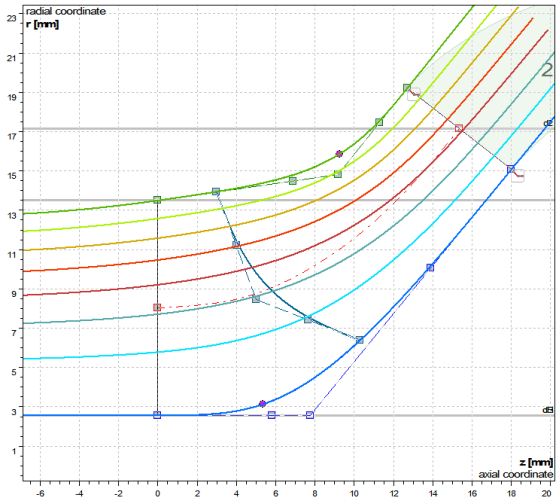
© CFturbo Software & Engineering GmbH



Meridional flow/ Grid

Netz für die Meridianströmungs-Berechnung

➜ siehe Meridianströmungs-Berechnung 284

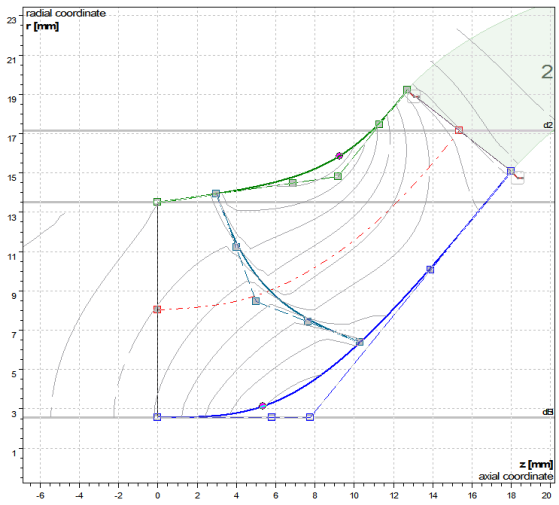


Meridional flow/ Streamlines

Meridianstromlinien, gleicher Massedurchsatz zwischen benachbarten Stromlinien

➜ siehe Meridianströmungs-Berechnung 284

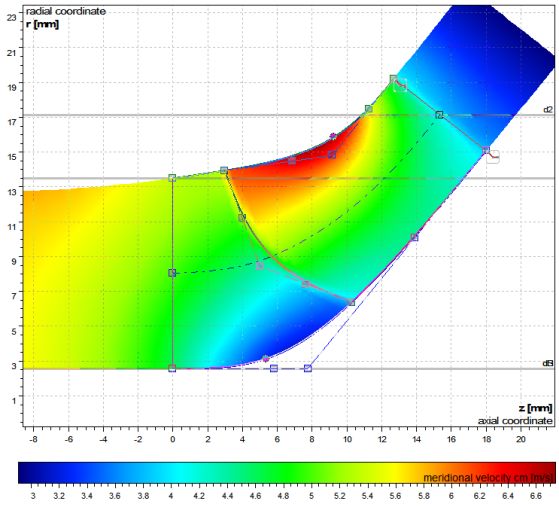
© CFturbo Software & Engineering GmbH



Meridional flow/ cm lines

Iso-Linien konst. Meridiangeschwindigkeit c_m

➜ siehe Meridianströmungs-Berechnung 284



Meridional flow/ cm surfaces

IsoFlächen konst. Meridiangeschwindigkeit c_m

(Skalierung unterhalb des Diagramms)

➜ siehe Meridianströmungs-Berechnung 284

Mögliche Warnungen

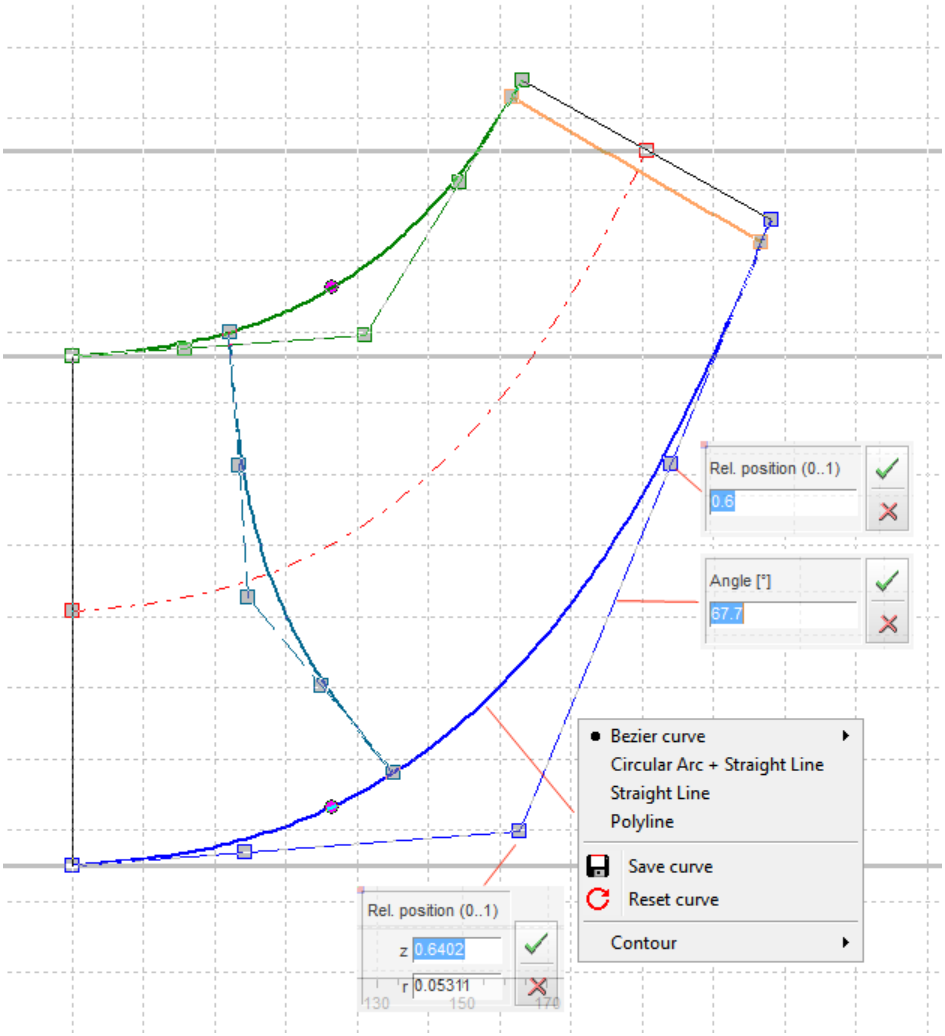
Problem	Lösungsmöglichkeiten
Inlet hub diameter: the deviation between meridional geometry and main dimension is higher than 0.1%	

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Problem	Lösungsmöglichkeiten
Die Abweichung zwischen dem Nabendurchmesser und der entsprechenden geometrischen Größen im Meridian ist zu groß. Dies kann nur auftreten, wenn ein Kurvenzug als Polylinie importiert wurde.	Entweder die Hauptabmessungen 181 oder die importierte Kurve anpassen.
Inlet shroud diameter: the deviation between meridional geometry and main dimension is higher than 0.1%	
Die Abweichung zwischen dem Saugmunddurchmesser und der entsprechenden geometrischen Größen im Meridian ist zu groß. Dies kann nur auftreten, wenn ein Kurvenzug als Polylinie importiert wurde.	Entweder die Hauptabmessungen 181 oder die importierte Kurve anpassen.
Outlet diameter: the deviation between meridional geometry and main dimension is higher than 0.1%	
Die Abweichung zwischen dem Außendurchmesser und der entsprechenden geometrischen Größen im Meridian ist zu groß. Dies kann nur auftreten, wenn ein Kurvenzug als Polylinie importiert wurde.	Entweder die Hauptabmessungen 181 oder die importierte Kurve anpassen.
Outlet width: the deviation between meridional geometry and main dimension is higher than 0.1%	
Die Abweichung zwischen dem Radbreite und der entsprechenden geometrischen Größen im Meridian ist zu groß. Dies kann nur auftreten, wenn ein Kurvenzug als Polylinie importiert wurde.	Entweder die Hauptabmessungen 181 oder die importierte Kurve anpassen.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

8.2.1 Hub-Shroud contour



Trag- und Deckscheibe

Trag- und Deckscheibe können gestaltet werden als:

- **Bezier curve**
  Die Kurve wird durch die Position der Bezierpunkte beschrieben.
  ➜ Details 271

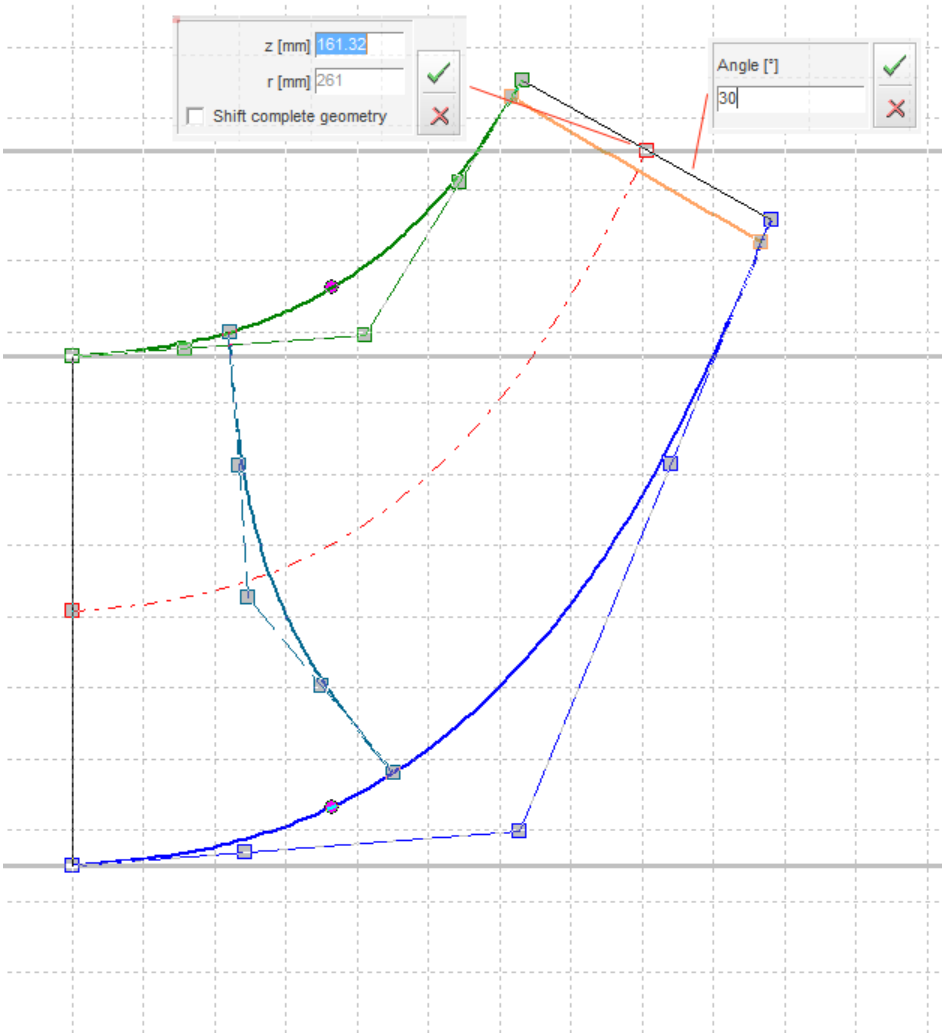
- **Circular Arc + Straight line**
  Die Kurve besteht aus einem Kreisbogen und einer Geraden.
  ➜ Details 275

- **Straight line**
  Die Kontur entsteht durch geradlinige Verbindung von Anfangs- und Endpunkt.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

- **Polyline**
  Die Kurve ist fixiert und kann nicht interaktiv verändert werden. Das Einlesen einer Punktfolge aus einer Datei ist möglich (**Load polyline**).

Ventilator-Laufräder werden üblicherweise vereinfacht mit Kreisbögen und Geraden (**Circular Arc + Straight line**) entworfen, alle anderen Laufradtypen im Bezier-Modus (**Bezier curve**).



Besonderheiten im Kontextmenü:

- An den Endpunkten der Trag- oder Deckscheibe kann optional die gesamte Geometrie verschoben werden (Shift complete geometry). Somit kann die Geometrie in eine bestimmte axiale Position gebracht werden.

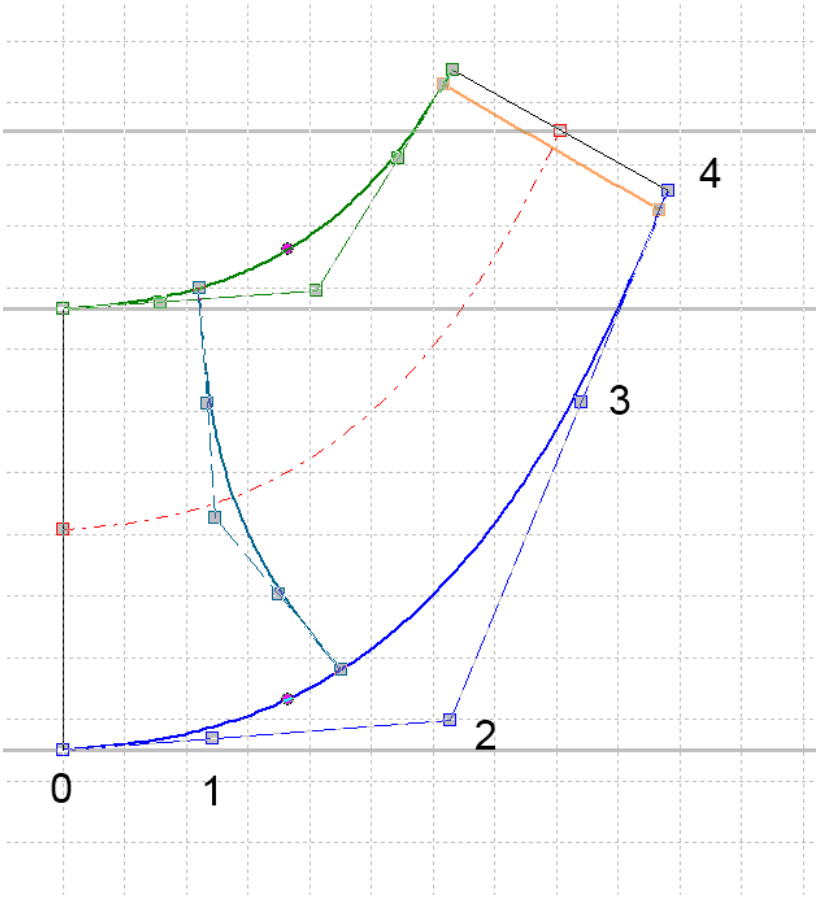
- Bei der Arbeit mit Kurven in diesem vereinfachten Modus kommt es zu einigen sinnvollen Einschränkungen, z.B. lässt sich die Neigung der Austrittskante zur Horizontalen nur ändern, wenn sich Trag- und Deckscheibe im Bezier-Modus befinden.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

8.2.1.1 Bezier

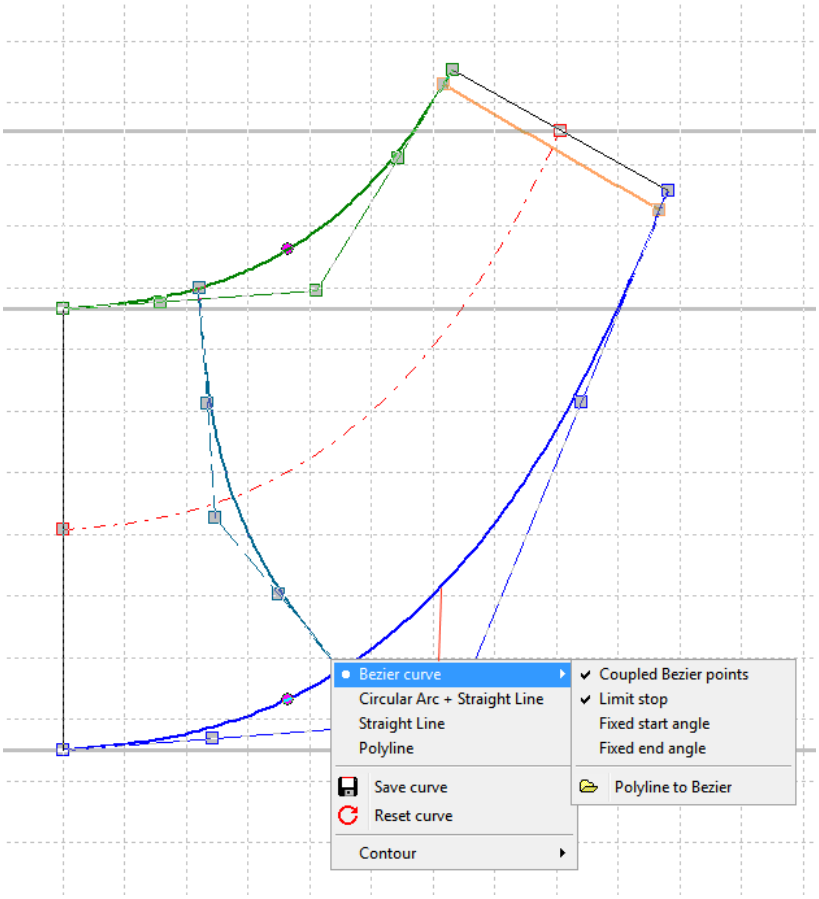
Bezierkurven

Trag- und Deckscheibe werden durch Bezierpolynome 4. Grades dargestellt. Dabei wird die Kurve durch 5 Bezierpunkte bestimmt.



Die Punkte 0 und 4 definieren die Kurvenendpunkte, die anderen 3 beeinflussen den Kurvenverlauf. Der mittlere Punkt 2 ist frei beweglich, die Punkte 1 und 3 hingegen haben nur einen Freiheitsgrad. Punkt 1 ist nur verschiebbar auf der Geraden zwischen den Punkten 0 und 2, Punkt 3 zwischen 4 und 2. Dadurch wird erreicht, dass an den Endpunkten der Kurven keine Krümmung auftritt, was in Verbindung mit einem möglichst stetigen Krümmungsverlauf kleine Geschwindigkeitsgradienten bewirkt. Die beiden Verbindungsgeraden definieren somit die Anstiege in den Endpunkten der Kurven.

© CFturbo Software & Engineering GmbH



Der Bezierpunkt 2 kann durch die Option **Limit stop** im Kontextmenü der Kurve in seiner Beweglichkeit eingeschränkt werden. Seine Position ist dann axial und radial limitiert auf den Bereich zwischen den Endpunkten 0 und 4..

Die oben beschriebene Kopplung der Bezierpunkte kann durch die Option **Coupled Bezier points** im Kontextmenü der Kurve zu oder abgeschaltet werden.

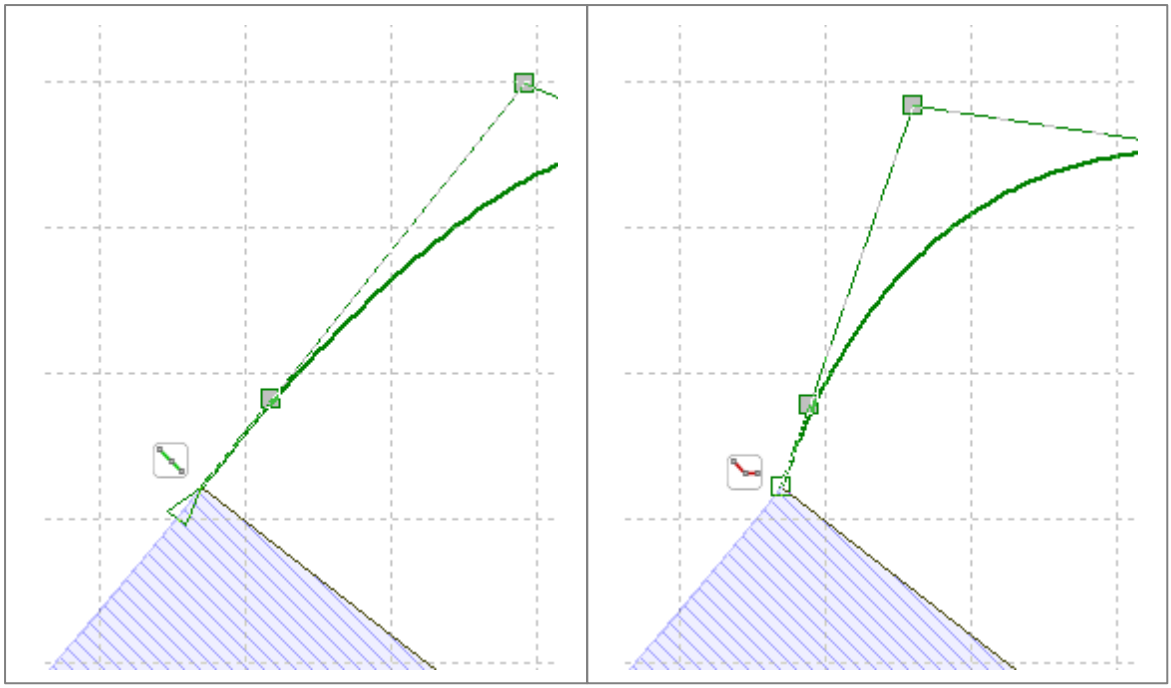
Der Startwinkel (Linie 0-1 bzw. 0-1-2) und der Endwinkel (Linie 3-4 bzw. 2-3-4) kann optional fixiert werden durch die Option **Fixed start angle** bzw. **Fixed end angle** im Kontextmenü der Kurve. Ist ein Winkel fixiert, so wird dies durch eine gepunktete statt gestrichelte Linie und ein Dreieck am Endpunkt der Kurve hervorgehoben.

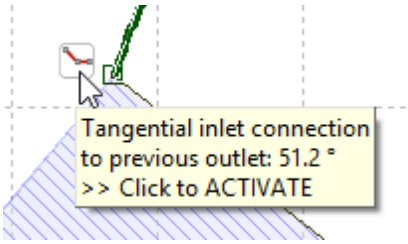
Tangentiale Übergänge

Im Bezier-Modus können optional tangentiale Übergänge zu benachbarten Komponenten (Laufrad oder Stator) erzwungen werden, indem auf das Symbol neben dem ersten bzw. letzten Bezierpunkt geklickt wird:

Tangentialer Übergang	Nicht-Tangentialer Übergang

© CFturbo Software & Engineering GmbH





Der Hint des Symbols enthält den Winkel der benachbarten Komponente zur Information.

Erstentwurf

Für einen automatischen Erstentwurf der Konturen werden folgende Werte genutzt:

- Hauptabmessungen 181: d_H, d_S, d_2, b_2
- Neigungswinkel γ der Austrittskante gegenuber der Horizontalen (siehe Approximationsfunktionen 135)
- Neigungswinkel ε von Trag und Deckscheibe gegenuber der Vertikalen (siehe Approximationsfunktionen 135)
- axiale Erstreckung: Pumpen, Ventilatoren entsprechend a) (Gülich), Turbinen entsprechend b) (Lindner), Verdichter entsprechend c) (Aungier). In einigen Konstellationen, in denen der Nabendurchmesser d_H im Vergleich zum Laufradurchmesser d_2 relativ klein ist, wird für Verdichter der Mittelwert aus a) und b) angewendet.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

a) $\Delta z = (d_{2a} - d_S)(n_q/74)^{1.07} + b_2/2\cos\gamma$

b) $\Delta z = (d_{1/2} - d_H)/2$

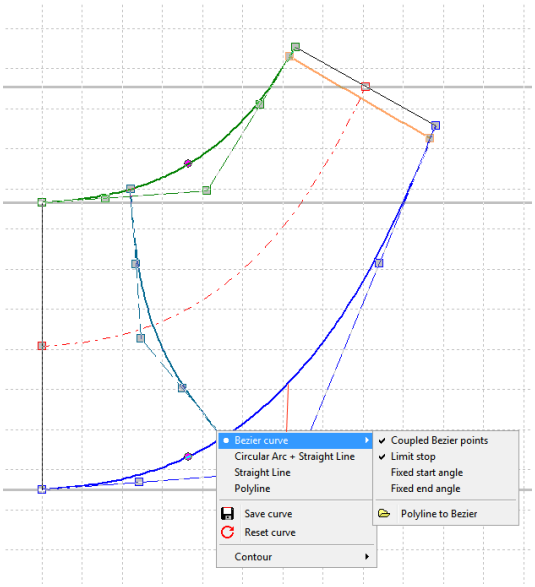
c) $\Delta z = d_2\left(0.014 + 0.023 \cdot \frac{d_2}{d_H} + 1.58 \cdot \varphi\right)$

Der Punkt 1 liegt anfangs bei 3/4 des axialen Abstandes der Punkte 0 und 2, der Punkt 3 bei 2/3 des radialen Abstandes der Punkte 2 und 4.

Die Manipulation der Konturen wird durch Veränderung der Lage der Bezierpunkte realisiert. Alternativ kann die Lage der Bezierpunkte auch durch Eingabe der Zahlenwerte verändert werden (siehe Grafische Dialoge 42). Durch Verschieben der Bezierpunkte am Laufradaustritt kann die Austrittskante gedreht werden. Wird die <Strg>-Taste gedrückt, so kann die Austrittskante bei konstantem Neigungswinkel axial verschoben werden. Die Neigung der Austrittskante kann auch nach Rechtsklick auf diese als Zahlenwert festgelegt werden.

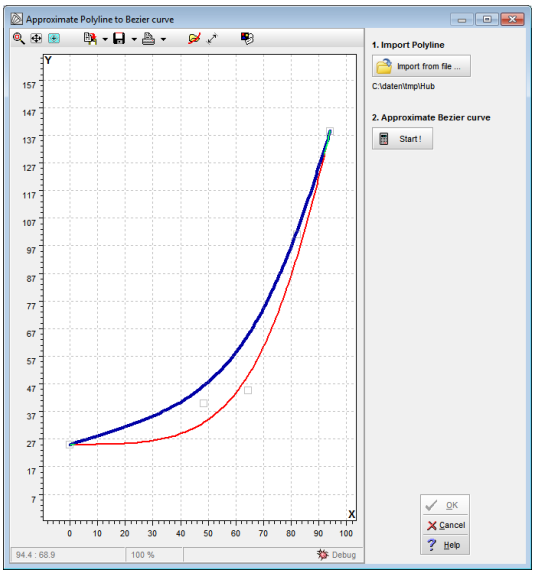
Bei der Gestaltung der Meridiankonturen sind zur Minimierung örtlicher Verzögerungen möglichst stetige Krümmungsverläufe anzustreben. Die Maximalwerte der Krümmung sollten möglichst gering gehalten werden, an den Konturenden sollte sie ganz verschwinden. Diese Forderungen werden durch Bezierkurven mit den oben beschriebenen Randbedingungen sehr gut erfüllt. Der örtliche Querschnitt 2πrb sollte moglichst gleichmaßig vom Saugmund zum Laufradaustritt ubergehen.

8.2.1.1.1 Konvertierung Polylinie - Bezier



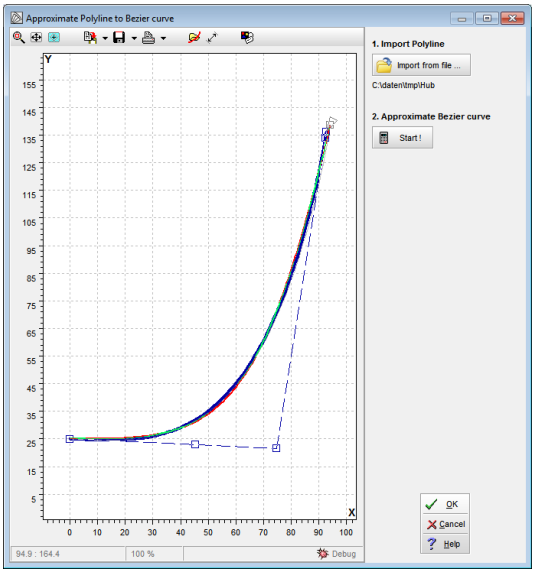
Wenn Trag- und/oder Deckscheibe als einfache Polylinie dargestellt wird - weil beispielsweise eine vorhandene Meridiangeometrie importiert wurde - kann diese Kurve in eine Bezierkurve konvertiert werden. Dadurch wird es möglich, gezielte Änderungen an der vorhandenen Geometrie vorzunehmen.

© CFturbo Software & Engineering GmbH



Zuerst wird die gewünschte Polylinie über **Import from file** eingelesen.

Die importierte Kurve wird rot dargestellt, die vorher vorhandene Kurve blau.

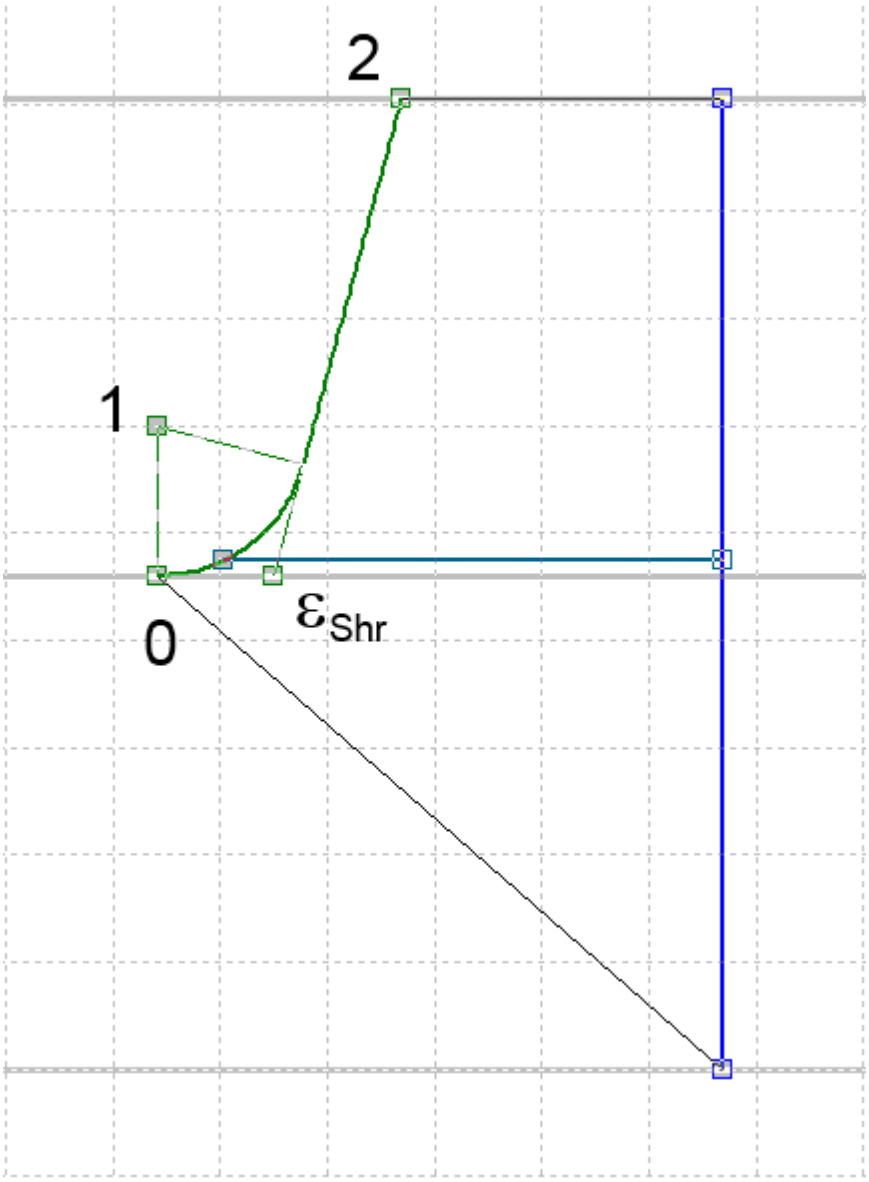


Durch Betätigen des Schalters **Start!** wird die Lage der Bezierpunkte so berechnet, dass die importierte Polylinie möglichst exakt nachgebildet wird.

8.2.1.2 Circular Arc + Straight line

Trag- und Deckscheibe werden durch ein Kreissegment mit tangentialem Übergang in eine Gerade dargestellt. Dabei wird der Radius des Segmentes durch Punkt 1 bestimmt. Die Punkte 0 und 2 definieren die axiale Position der Meridiankontur.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

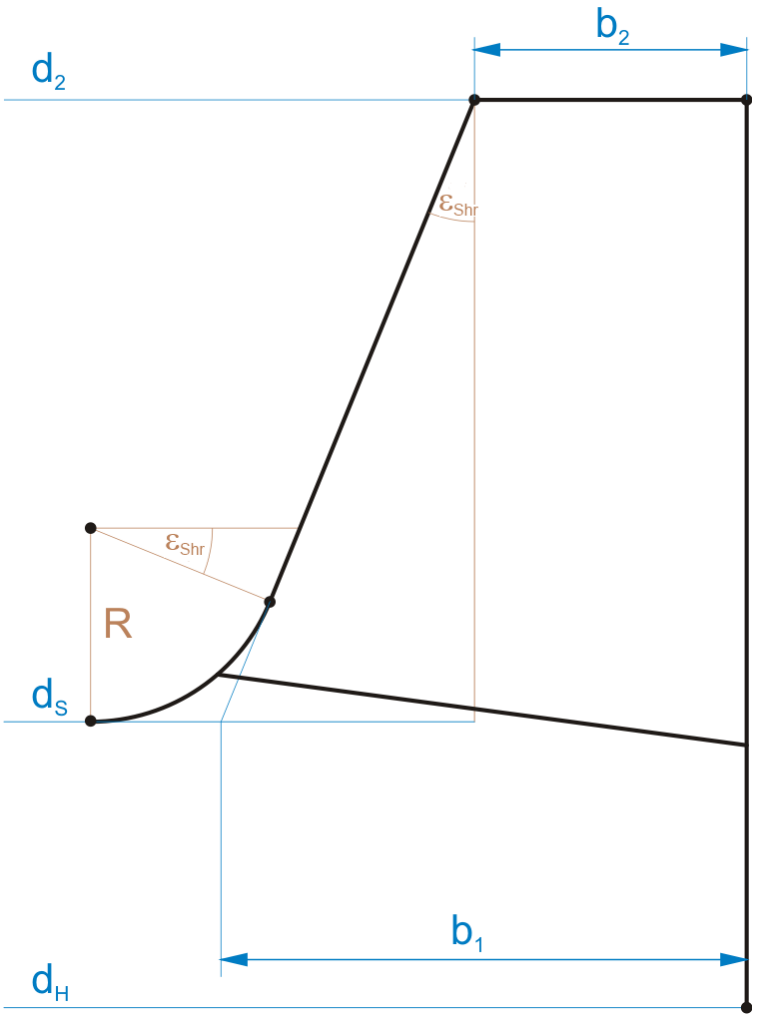


Für einen automatischen Erstentwurf der Konturen werden folgende Werte genutzt::

- Hauptabmessungen 181: d_H, d_S, d_2, b_1, b_2
- Radius des Kreissegmentes R: 14% von d_S

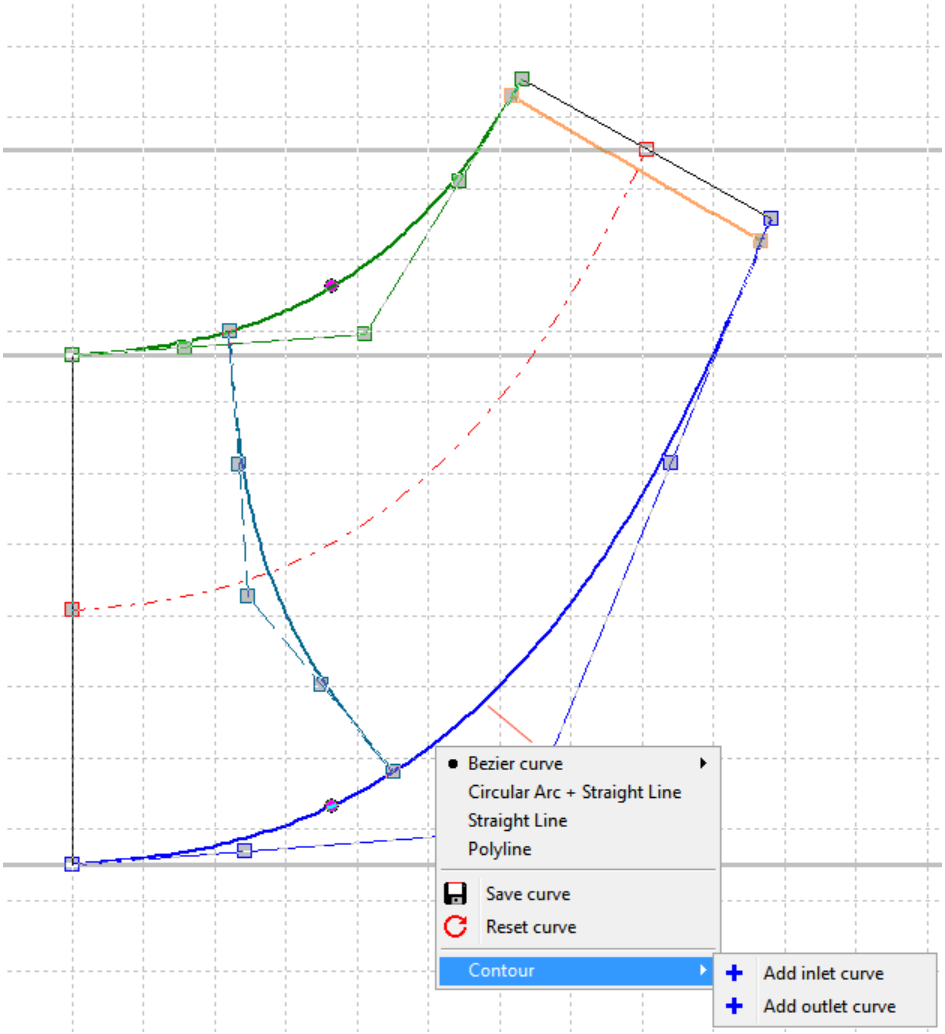
Die Manipulation der Konturen wird durch Veränderung der Lage der Punkte realisiert. Alternativ kann deren Lage auch durch Eingabe der Zahlenwerte verändert werden. Durch Verschieben der Endpunkte kann die Meridiankontur axial verschoben werden.

© CFturbo Software & Engineering GmbH



© CFturbo Software & Engineering GmbH

8.2.1.3 Contour



Der Verlauf von Trag- und Deckscheibe kann optional erweitert werden. Dazu können zusätzliche Kurven am Ein- und Austritt hinzugefügt werden, um komplexe Kontur-Kurven zu entwerfen.

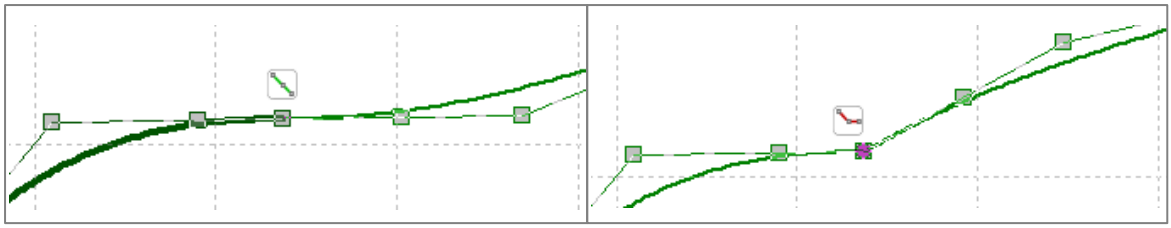
Die zusätzlichen Kurven an Ein-/Austritt können durch ihr eigenes Popup-Menü umgeschaltet werden auf beliebige Kurventypen (Bezier, Circular, Straight, Polyline).

Tangentialer Übergang

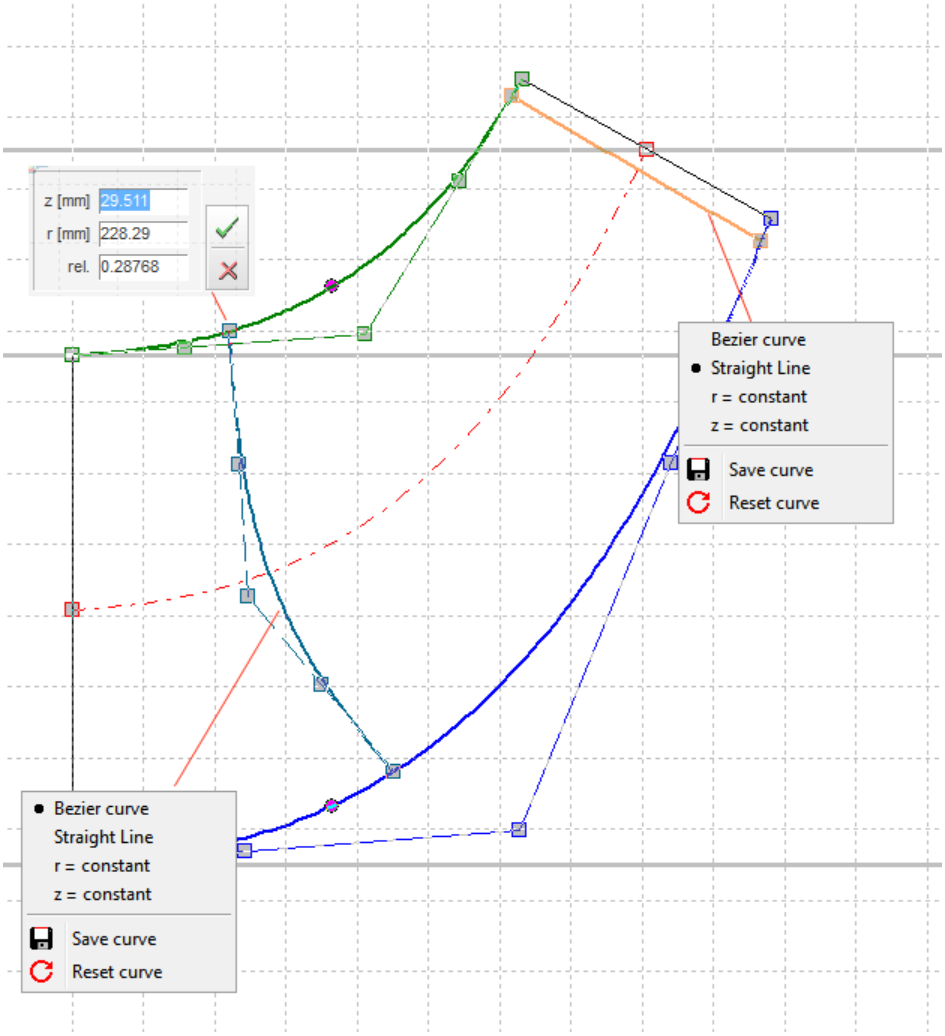
Der tangentiale Übergang zwischen benachbarten Kurven kann erzwungen werden, indem auf das Symbol neben dem ersten bzw. letzten Bezierpunkt geklickt wird:

Tangentiale Verbindung	Nicht-tangentiale Verbindung

© CFturbo Software & Engineering GmbH



8.2.2 Leading-Trailing edge contour



Die Vorder- und Hinterkante kann gestaltet werden als:

- **Bezier curve**
  Die Eintrittskante wird durch die Position der Bezierpunkte beschrieben.

- **Straight**

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Die Eintrittskante ist eine gerade Verbindungslinie zwischen den Endpunkten auf Trag- und Deckscheibe.

- **r = constant**
  Die Eintrittskante verläuft auf konstantem Radius, d.h. parallel zur Drehachse.

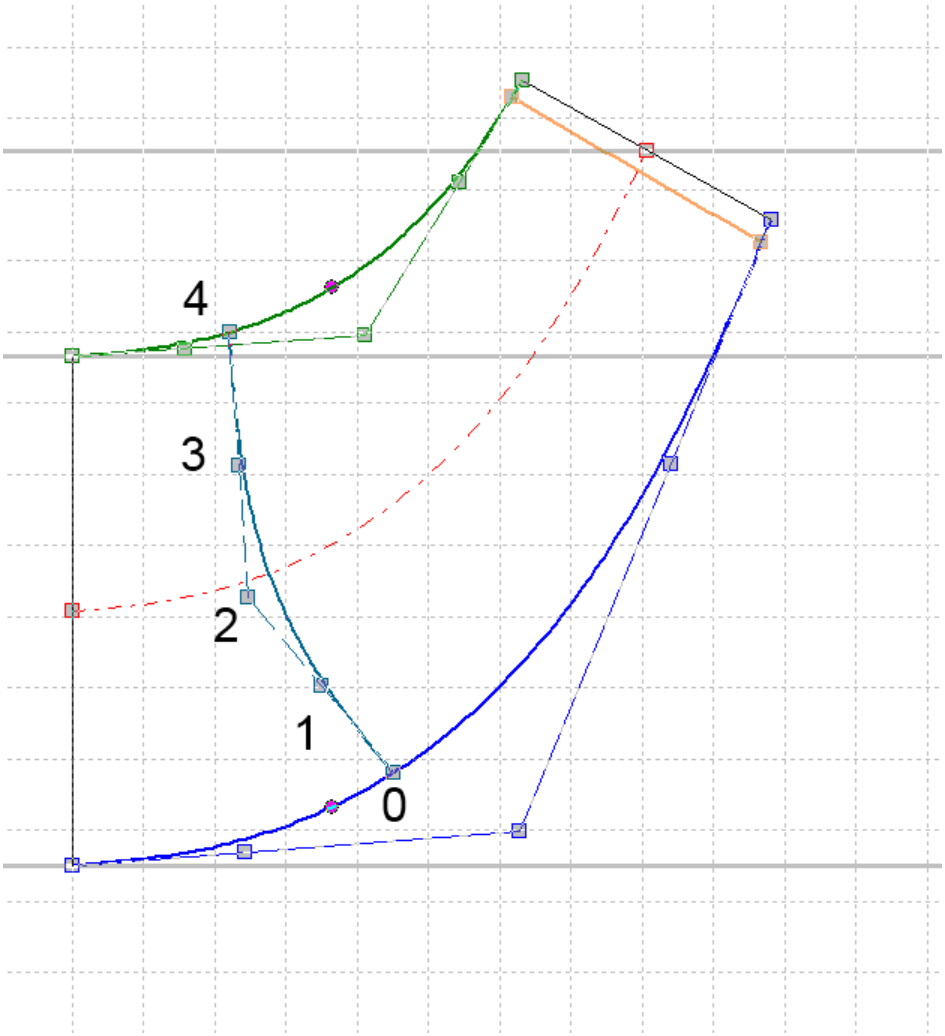
- **z = constant**
  Die Eintrittskante verläuft auf konstanter axialer Koordinate, d.h. senkrecht zur Drehachse.

Die Hinterkante kann nicht gestaltet werden, wenn Trailing edge fixed on outlet 264.

Die Position der meridionalen Schaufel-Eintrittskante auf der Trag- und Deckscheibe kann optional über die axiale (z), die radiale (r) oder die relative Position (rel.) festgelegt werden.

Im Fall von Zwischenschaufeln (**Splitter blades**) können beide Eintrittskanten unabhängig voneinander gestaltet werden.

Die Eintrittskanten sind bei Turbinen und Kompressoren im Erstentwurf gerade, bei Turbinen ist zusätzlich z = constant.



© CFturbo Software & Engineering GmbH

Die Festlegung der Eintrittskante erfolgt ebenfalls durch ein Bezierpolynom 4. Grades. In Bezug auf die Bezierpunkte gelten analog die oben gemachten Aussagen. Einziger Unterschied ist die Manipulation der Randpunkte. Diese sind bei der Eintrittskante frei auf der Trag- bzw. Deckscheibenkontur verschiebbar. Die Lage der Eintrittskante wird vom Programm nicht automatisch vorgeschlagen, sondern erscheint bei einem Neuentwurf immer an gleicher Stelle.

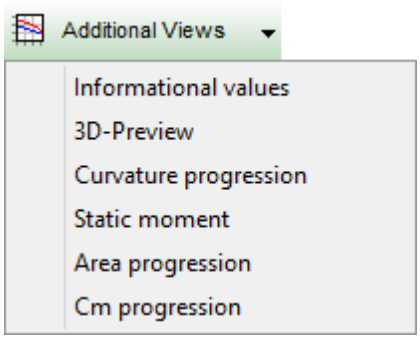
Durch die Option **Straight** im Kontextmenü der Kurve kann die Eintrittskante gerade ausgeführt werden (nur 2 Bezier-Punkte). Außerdem kann sie rein axial bzw. radial angeordnet werden, wozu die Optionen **z = const.** bzw. **r = const.** zur Verfügung stehen (nur 1 Bezier-Punkt).

Bei Radialrädern mit nq ≈ 10…30 wird die Eintrittskante häufig parallel zur z-Achse angeordnet. Da in diesen Fällen die Austrittskante ebenso achsparallel ist, können einfach gekrümmte (zylindrische) Schaufeln entstehen. Bei höheren spezifischen Drehzahlen nq oder aus Festigkeitsgründen wird die Eintrittskante in den Saugmund-Bereich vorgezogen. Da sich bei unterschiedlichen Durchmessern verschiedene Eintrittswinkel ergeben, entstehen – vor allem im Eintrittsbereich – räumlich gekrümmte Schaufeln. Dies führt zu stabileren Kennlinien, besseren Wirkungsgraden und bei Pumpen zu verbesserter Saugfähigkeit .

Die Lage der Eintrittskante sollte so gewählt werden, dass die Arbeitsübertragung auf allen Meridianstromflächen gleich groß ist. Ein Kriterium dafür ist ein annährend gleich großes statisches Moment $S = \int r\,dx$ der Meridianstromlinien auf Trag- und Deckscheibe zwischen Ein- und Austrittskante. Im Bereich **Static moment** werden die entsprechenden Zahlenwerte für das statische Moment angezeigt. Weiterhin sollte die Eintrittskante nach Möglichkeit etwa rechtwinklig auf die Konturen treffen, um spitze Ecken in den Strömungskanälen im Hinblick auf möglichst geringe Versperrung zu unterbinden. Um trotzdem gleich große statische Momente auf Trag- und Deckscheibe zu erreichen, wird vor allem bei höheren spezifischen Drehzahlen (Halbaxialräder) häufig die Austrittskante gegenüber der Achsrichtung geneigt.

8.2.3 Additional views

Die folgenden Informationen können im Dialog dargestellt werden, indem das Menü "Additional views" benutzt wird:



Informational values

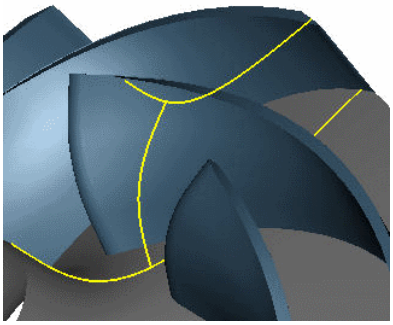
Einige Zahlenwerte werden zu Information angezeigt:

- Minimaler Krümmungsradius auf Trag- und Deckscheibe (Position ist auf den entsprechenden Kurven markiert)
- Statisches Moment S zwischen Ein- und Austrittskante auf Trag- und Deckscheibe (siehe unten)
- Winkel ε in den Endpunkten von Trag- und Deckscheibe bezuglich der horizontalen Richtung
- Winkel γ_{LE} der Eintrittskante an der Trag- und Deckscheibe bezüglich der horizontalen Richtung
- Axiale Erstreckung Δz der Trag- und Deckscheibe
- Radiale Erstreckung Δr der Trag- und Deckscheibe
- Winkel γ_{TE} der Austrittskante bezüglich der horizontalen Richtung
- Axiale Erstreckung Δz der Mittellinie
- Axial Erstreckung (Standard) Δz_D vom Eintritt Deckscheibe bis Austritt Mittellinie (nur definiert für radiale Laufräder)
- Maximale axiale Erstreckung Δz_M des gesamten Meridians
- Maximale radiale Erstreckung Δr_M des gesamten Meridians
- Axiale Überdeckung z_B des Schaufelbereichs der Deckscheibe mit dem Schaufelbereich der Tragscheibe in z-Richting
- LE Abstand b_1 von der Eintrittskante auf der Tragscheibe bis zur Eintrittskante auf der Deckscheibe
- LE Kreis b_1 als Durchmesser eines Kreises innerhalb der Meridiankontur an der Position der Eintrittskante
- LE Durchmesser d_1 am Schnittpunkt zwischen Eintrittskante und Mittellinie
- Durchmesserverhältnis d_1/d_2

3D-Preview

3D-Modell 163 der derzeit entworfenen Meridiankontur.

© CFturbo Software & Engineering GmbH



Die Meridiankontur beinhaltet Trag- und Deckscheibe sowie die Zirkularprojektion der Schaufelkanten in eine Ebene.

Curvature progression

Krümmungsverlauf entlang Trag- und Deckscheibenkurve. Der Verlauf sollte so stetig wie möglich sein, wobei starkes Ansteigen bzw. Abfallen vermieden werden sollte.

Static moment

Das statische Moment ist das Integral der mit dem Radius (r) multiplizierten Kurvenlänge (x) im Schaufelbereich:

$$S = \int_{r_{LE}}^{r_{TE}} r dx$$

Es sollte in den Endpunkten für Trag- und Deckscheibe eine ähnliche Größe haben.

Area section

Querschnittsflächen-Verlauf zwischen Trag- und Deckscheibe.

Lokale Maxima oder Minima sollten vermieden werden.

Cm progression

Verlauf der Meridiangeschwindigkeit c_m entlang der Meridianstromlinien.

➜ siehe Meridianströmungs-Berechnung 284

© CFturbo Software & Engineering GmbH

8.2.4 Meridianströmungs-Berechnung

Die Stromfunktion ψ

Gelost werden soll die Gleichung fur die Stromfunktion ψ in Zylinderkoordinaten im Meridianschnitt. Für ein inkompressibles Fluid hat die Gleichung in Zylinderkoordinaten (z, r) folgendes Aussehen:

$$\frac{\partial^2\psi}{\partial z^2}+\frac{\partial^2\psi}{\partial r^2}-\frac{1}{r}\frac{\partial\psi}{\partial r}=0\cdot$$

Für ein kompressibles Fluid ist die Gleichung:

$$\left[1-\frac{1}{a^2}\left(\frac{\partial\psi}{\partial z}\right)^2\right]\frac{\partial^2\psi}{\partial z^2}+\left[1-\frac{1}{a^2}\left(\frac{\partial\psi}{\partial r}\right)^2\right]\frac{\partial^2\psi}{\partial r^2}+\left[-\frac{2}{a^2}\frac{\partial\psi}{\partial z}\frac{\partial\psi}{\partial z}\right]-\frac{1}{r}\frac{\partial\psi}{\partial r}=0,$$

wobei a die Schallgeschwindigkeit ist, definiert mit:

$$a=\sqrt{\kappa\cdot R\cdot Z\cdot T}\cdot$$

Trag- und Deckscheibe repräsentieren jeweils Stromlinien, an Ein- und Austritt ist eine Stromfunktionsverteilung derart vorgegeben, dass die Kontinuitätsgleichung erfüllt ist (siehe Entwurfsmassestrom global setup) 67.

Rechennetz und Lösungsansatz

Die Stromfunktions-Gleichung wird per Finite-Differenzen-Methode (FDM) auf einem Rechennetz gelöst, das mittels elliptischer Gittergenerierung berechnet wird. Mehr Informationen über die genutzten Techniken findet man u.a. in Anderson et al 441.

Ergebnisse

Die meridionale Geschwindigkeitskomponente kann mithilfe der axialen Geschwindigkeitskomponente:

und mithilfe der radialen Geschwindigkeitskomponente:

berechnet werden mit:

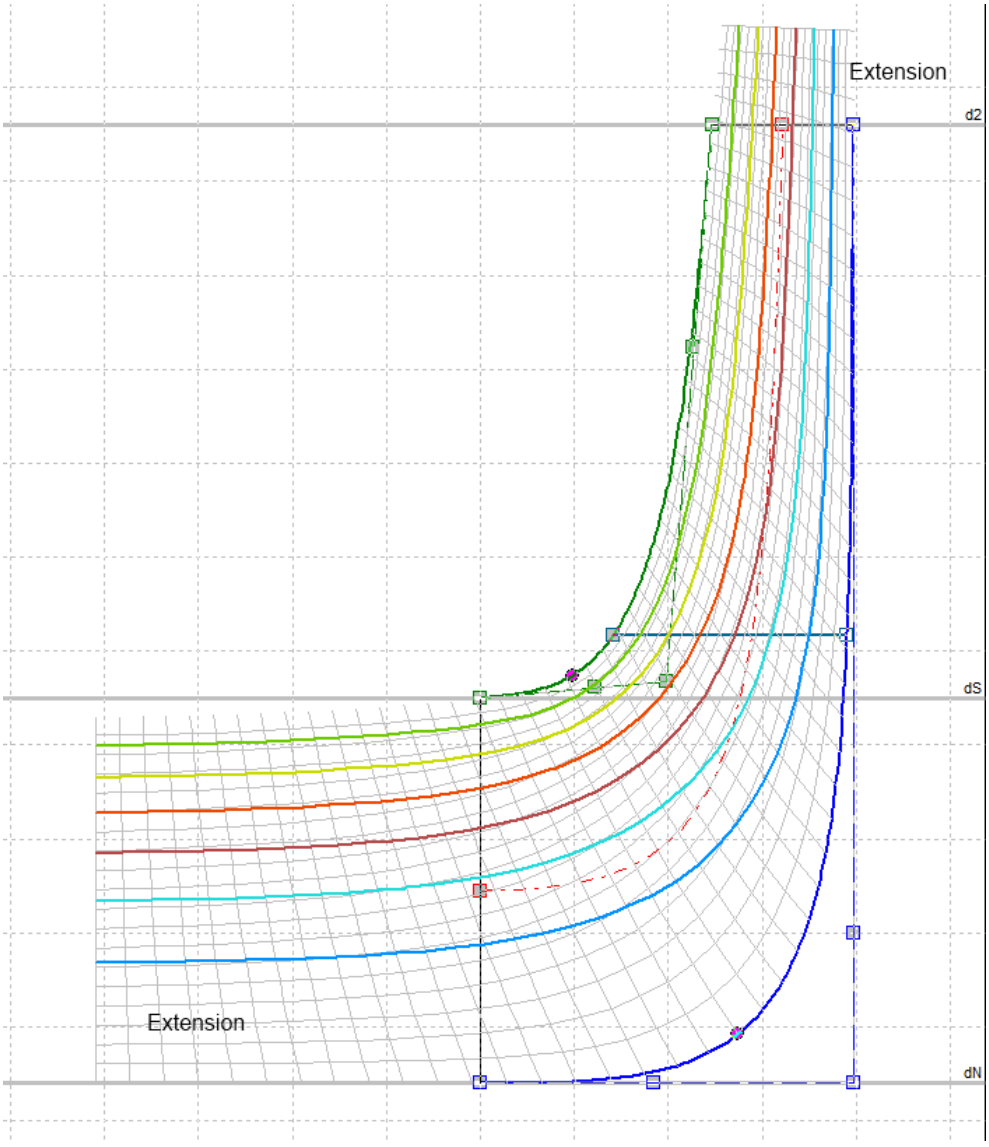
© CFturbo Software & Engineering GmbH

$$c_m = \sqrt{c_z^2 + c_r^2}.$$

Hier sind r_R und ρ_R Referenzradius bzw. -dichte. Im Fall eines inkompressiblen Fluids ist die Dichte im gesamten Rechengebiet konstant und der entsprechende Term in den Gleichungen wird zu 1.

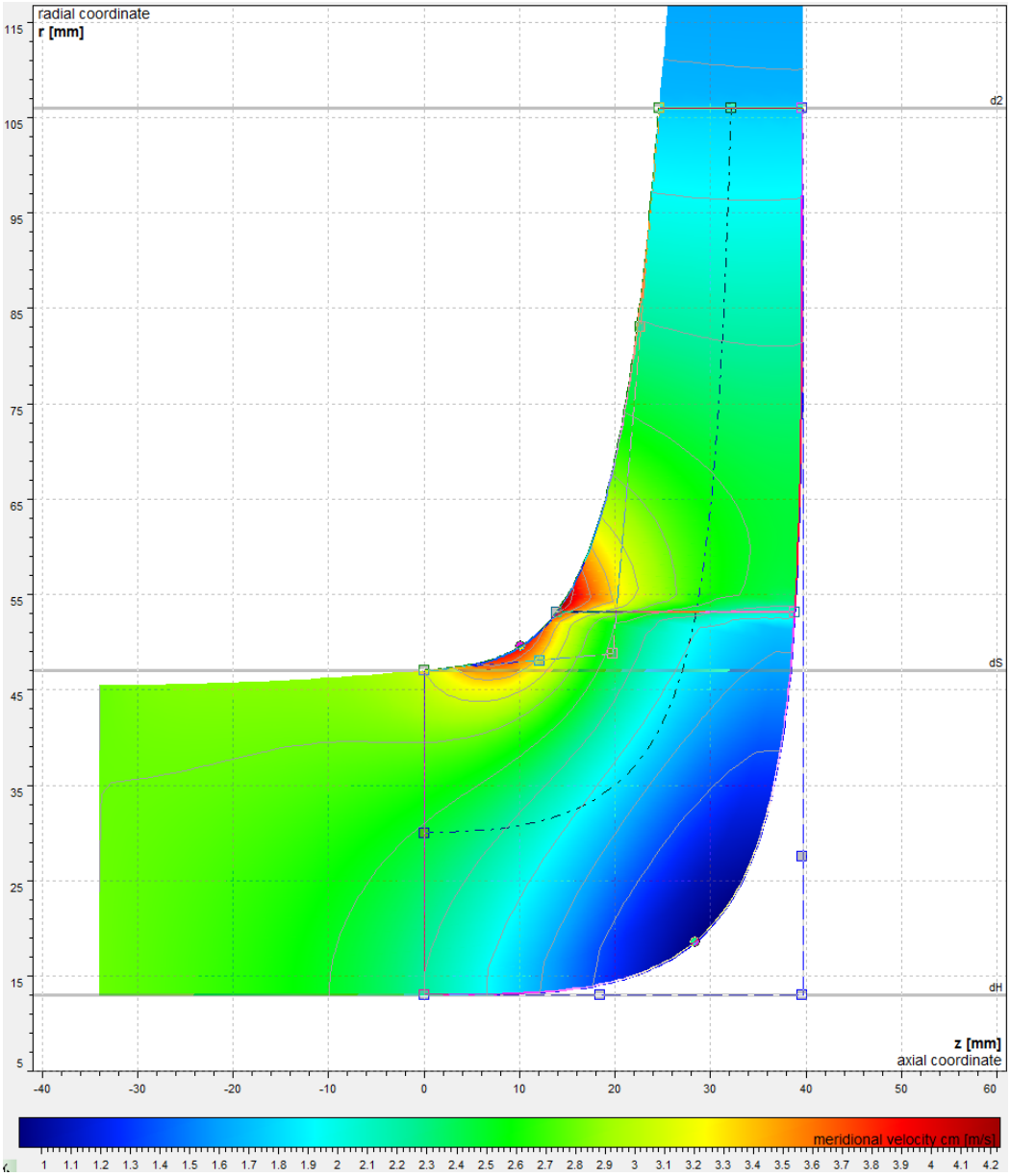
Beispiel

Nach jeder Änderung der Meridiankontur wird ein neues Rechennetz generiert. Außerdem werden Extensionen an Ein- und Auslass hinzugefügt, um Randbedingungen einfacher setzen zu können.



Auf der Basis des aktualisierten Rechennetzes wird die Gleichung der Stromfunktion gelöst und anschließend Linien mit konstanten Werten der Stromfunktion und der meridionalen Absolutgeschwindigkeitskomponente dargestellt.

© CFturbo Software & Engineering GmbH



Anmerkung

Die Anwendung der Potentialtheorie liefert nur eine Näherung für die tatsächliche Strömung im Meridianschnitt. Man muss daher beachten, dass weder Reibung berücksichtigt wird noch die Haftbedingung an Wänden, d.h. an Trag- und Deckscheibe. Für eine detaillierte Analyse der Strömung müssen CFD-Techniken angewendet werden, die die Lösung der kompletten Navier-Stokes-Gleichungen beinhalten. Es ist außerdem möglich, dass der implementierte Lösungsalgorithmus (FDM) nicht für jede Kombination aus Entwurfspunkt und Meridiankontur zu einer konvergierten Lösung führt.

Singularitäten können auftreten, wenn es im Rechengebiet Orte mit Radien in der Nähe von Null gibt.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Wenn dies der Fall ist, können Artefakte in der Darstellung der meridionalen Geschwindigkeiten enthalten sein.

Für kompressible Fluide ist es notwendig, dass die Strömung im gesamten Rechengebiet ausreichend entfernt ist von transsonischen Verhältnissen. Anderenfalls gibt es keine Lösung der Gleichung der Stromfunktion.

8.3 Mean line design

Innerhalb dieses Entwurfsmodus erfolgt der Schaufelentwurf in 4 Schritten:

(1) Blade properties 287

(2) Blade mean lines 312

(3) Blade profiles 330

(4) Blade edges 336

8.3.1 Schaufeleigenschaften

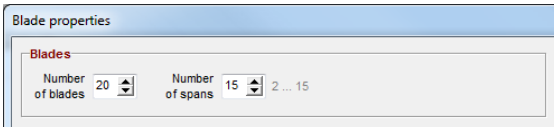
? Impeller | Blade properties

Die Festlegung der Schaufeleigenschaften erfolgt in 2 Schritten:

(1) Grundlegende Einstellungen 290 (Blade Setup)

(2) Schaufelwinkel 299 (Blade angles)

Festlegung der Schaufelzahl und der Zahl der Entwurfsschnitte



Usual number of blades are:

Pumpe	3 ... 7
Ventilator	6 ... 10
Verdichter	Depending on blade exit angle $ß_2$: • 12 for $ß_2 \approx 30°$ • 16 for $ß_2 \approx 45°...60°$

	• 20 for ß$_2$≈70°...90°
Turbine	12 ... 20

Many blades - causing low blade loading - are related to higher friction losses. By choosing of fewer blades - leading to a higher blade loading - the hydraulic losses may rise due to increased secondary flow and stronger deviation between blade and flow direction.

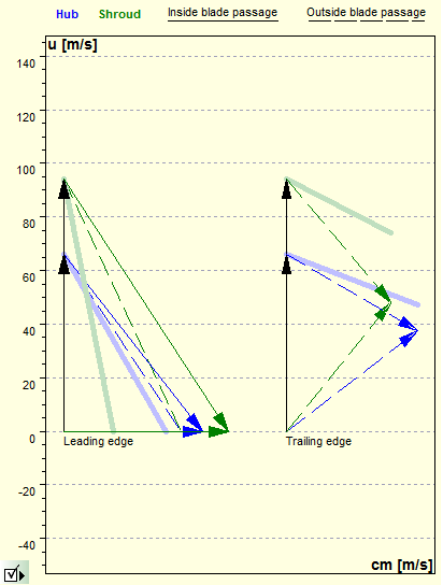
The recommended number of blades according to Pfleiderer is displayed for information on the right side:

$$z = k_z \frac{d_2 + d_1}{d_2 - d_1} \sin\frac{\beta_1 + \beta_2}{2}$$

with k_z = 6.5 ... 8.0 for compressors, else 5.0 ... 6.5.

Information

Im rechten Bereich des Dialoges werden Informationen dargestellt, die sich aus den berechneten bzw. festgelegten Werten ergeben.



(1) Velocity triangles

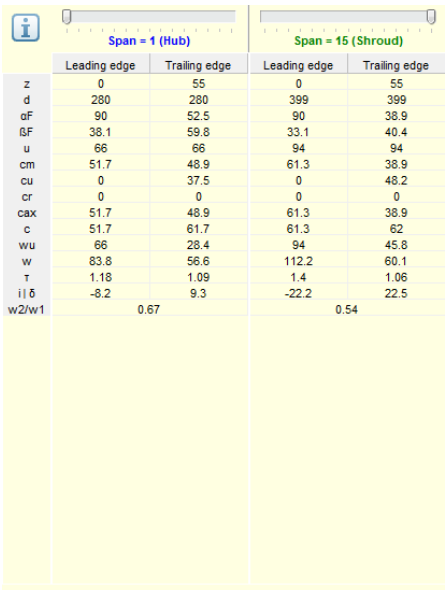
Die Geschwindigkeitsdreiecke für Ein- und Austritt werden veranschaulicht.

Die durchgezogenen Linien entsprechen jeweils den Strömungsgeschwindigkeiten an der Trag- (blau) und an der Deckscheibe (grün).

Durch gestrichelten Linien werden die Geschwindigkeiten unmittelbar vor bzw. nach dem Schaufelbereich dargestellt, um die Verengung des Strömungskanals durch die Schaufeln zu verdeutlichen.

Außerdem werden die Schaufelwinkel durch dicke Linien dargestellt. Dabei wird an der Vorderkante die Fehlanströmung und an der Hinterkante die Minderumlenkung sichtbar.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

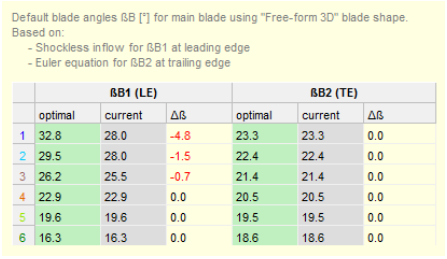


	Span = 1 (Hub)		Span = 15 (Shroud)	
	Leading edge	Trailing edge	Leading edge	Trailing edge
z	0	55	0	55
d	280	280	399	399
αF	90	52.5	90	38.9
ßF	38.1	59.8	33.1	40.4
u	66	66	94	94
cm	51.7	48.9	61.3	38.9
cu	0	37.5	0	48.2
cr	0	0	0	0
cax	51.7	48.9	61.3	38.9
c	51.7	61.7	61.3	62
wu	66	28.4	94	45.8
w	83.8	56.6	112.2	60.1
τ	1.18	1.09	1.4	1.06
i | δ	-8.2	9.3	-22.2	22.5
w2/w1	0.67		0.54	

(2) Values

Zahlenwerte für Geschwindigkeitskomponenten und Strömungswinkel werden tabellarisch angezeigt. Dabei handelt es sich um folgende Größen (kurzer Hinweis erscheint am Mauszeiger):

d	Durchmesser
α	Winkel der Absolutströmung gegen die Umfangsrich
β	Winkel der Relativströmung gegen die Umfangsricht
u	Umfangsgeschwindigkeit
cm	Meridiangeschwindigkeit (cm=wm)
cax	Axialkomponente der Absolutgeschwindigkeit
cr	Radialkomponente der Absolutgeschwindigkeit
cu	Umfangskomponente der Absolutgeschwindigkeit
c	Absolutgeschwindigkeit
wu	Umfangskomponente der Relativgeschwindigkeit: wu
w	Relativgeschwindigkeit
t	Schaufelversperrung (siehe weiter unten)
i	Anstellwinkel (incidence): i = β1B - β1
δ	Deviationswinkel: : δ = β2B - β2
wR	Verzögerungsverhältnis der Relativgeschwindigkeit: w1



Default blade angles ßB [°] for main blade using "Free-form 3D" blade shape.
Based on:
- Shockless inflow for ßB1 at leading edge
- Euler equation for ßB2 at trailing edge

	ßB1 (LE)			ßB2 (TE)		
	optimal	current	Δß	optimal	current	Δß
1	32.8	28.0	-4.8	23.3	23.3	0.0
2	29.5	28.0	-1.5	22.4	22.4	0.0
3	26.2	25.5	-0.7	21.4	21.4	0.0
4	22.9	22.9	0.0	20.5	20.5	0.0
5	19.6	19.6	0.0	19.5	19.5	0.0
6	16.3	16.3	0.0	18.6	18.6	0.0

(3) Default ßB

Die Standard-Schaufelwinkel für eine optimale "Free-form 3D"-Schaufelform im Vergleich zu den gerade spezifizierten/ berechneten Winkeln werden angezeigt. Abweichungen von den Standardwerten werden rot gekennzeichnet. Die Standard-Schaufelwinkel werden berechnet basierend auf

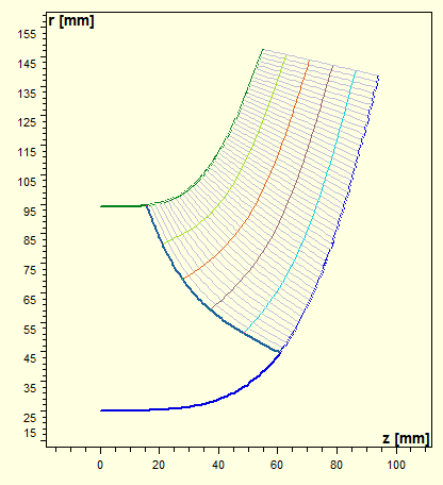
- Stoßfreie Zuströmung für $ß_{B1}$ an der Schaufel-Vorderkante
- Euler-Gleichung für $ß_{B2}$ an der Schaufel-Hinterkante

Some blade angle values result from mean line constraints for simple blade shapes.

Für einige vereinfachte Schaufelformen resultieren die Schaufelwinkel einiger Querschnitte vom Skelettlinien-Entwurf - siehe Schaufelwinkel/ "Auto" 301.

Wenn der Skelettlinien-Entwurf für die Komponente bereits vorliegt, dann werden diese abhängigen Winkel automatisch zur Information berechnet, anderenfalls bleiben die Tabellenzellen leer.

© CFturbo Software & Engineering GmbH



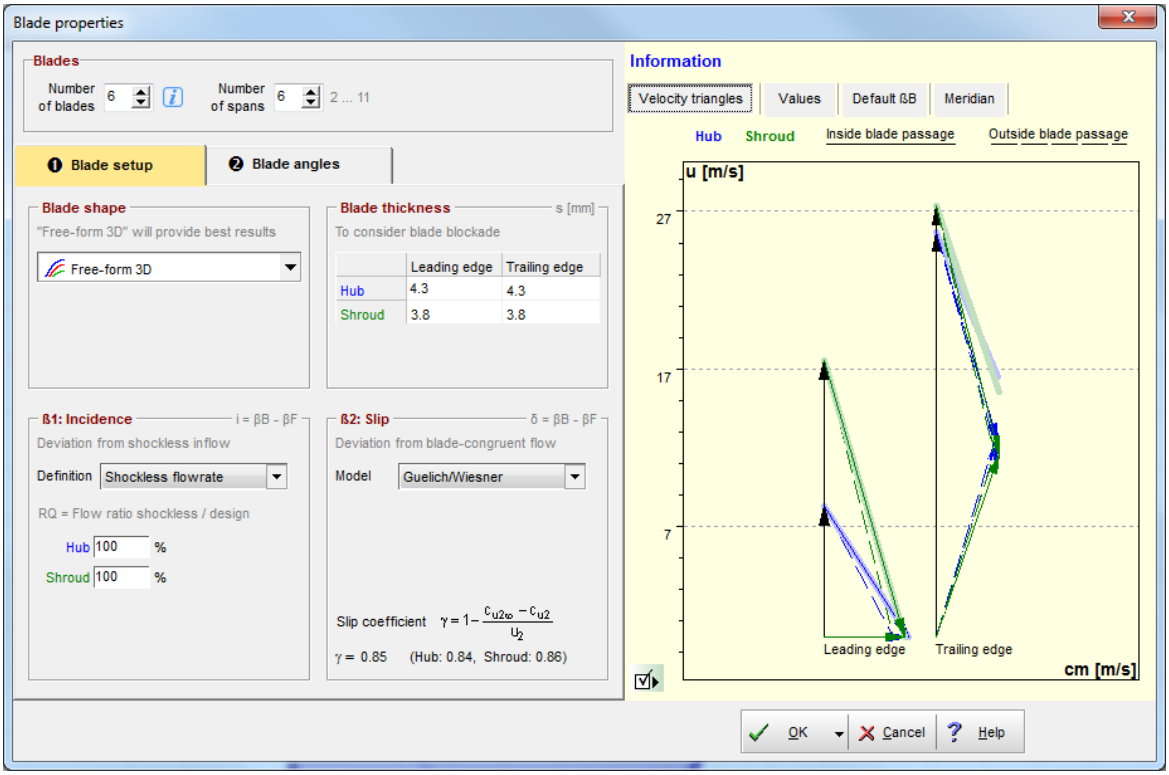
(4) Meridian

Anzeige des Meridians inkl. Schnitte

8.3.1.1 Grundeinstellungen

? Impeller | Blade properties

Auf der Registerseite **Blade setup** werden grundlegende Eigenschaften der zu entwerfenden Schaufel festgelegt.



© CFturbo Software & Engineering GmbH

(1) Festlegung der Schaufelzahl im Bereich Number of blades

Typische Schaufelzahlen sind:

Pumpen	3 ... 7
Ventilatoren	6 ... 10
Verdichter	Abhängig vom Schaufelwinkel ß$_2$: • 12 für ß$_2$≈30° • 16 für ß$_2$≈45°...60° • 20 für ß$_2$≈70°...90°
Turbinen	12 ... 20

Zu viele Schaufeln (geringe Schaufelbelastung) führen zu unnötig hohen Reibungsverlusten, zu wenig Schaufeln (hohe Schaufelbelastung) haben ansteigende Verwirbelungsverluste und Minderumlenkung zur Folge.

Die empfohlene Schaufelzahl nach Pfleiderer wird rechts informativ angezeigt:

$$z = k_z \frac{d_2 + d_1}{d_2 - d_1} \sin\frac{\beta_1 + \beta_2}{2}$$

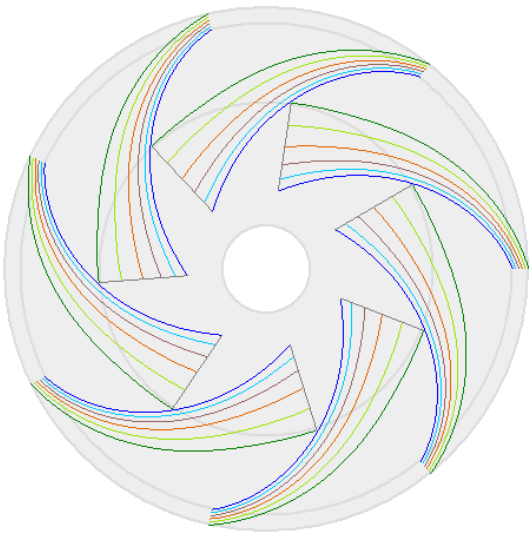
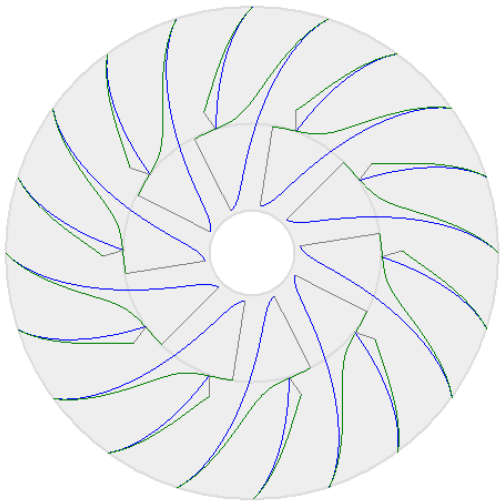
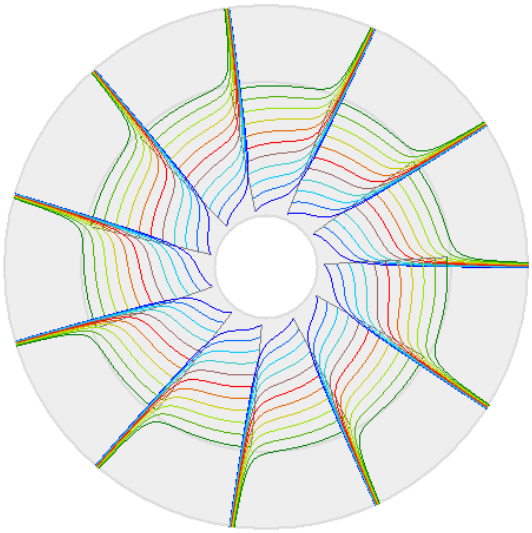
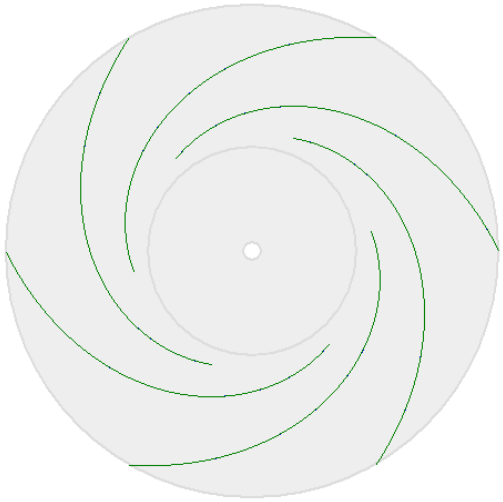
mit k_z = 6.5 ... 8.0 für Verdichter, sonst 5.0 ... 6.5

(2) Auswahl der gewünschten Schaufelform im Bereich Blade shape

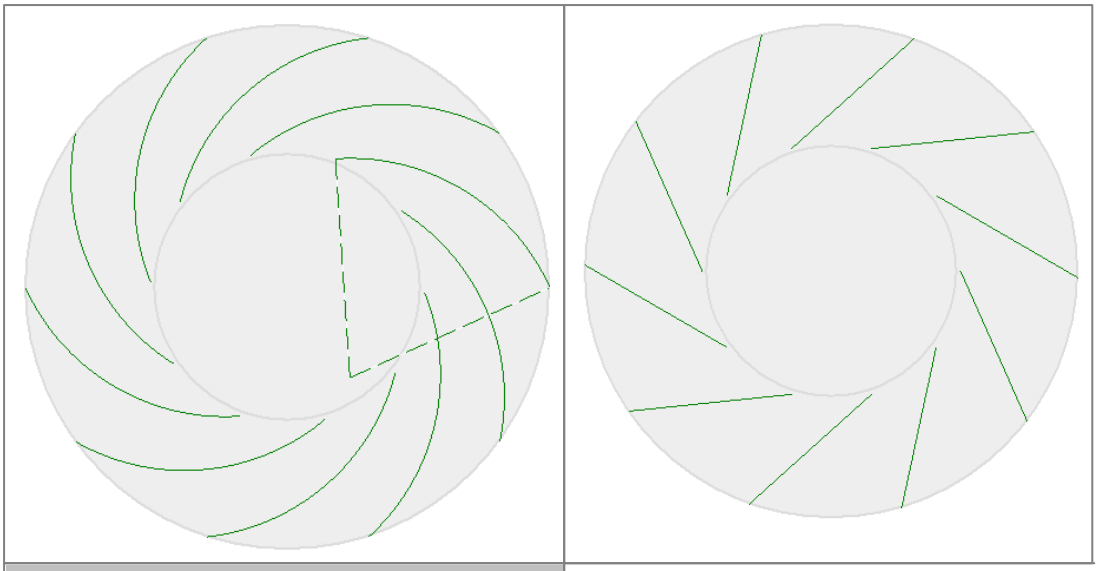
Für die Schaufelform stehen insgesamt 7 Möglichkeiten zur Verfügung:

Freeform 3D	**Ruled surface 3D** Erzeugende der Schaufeloberfläche = Gerade

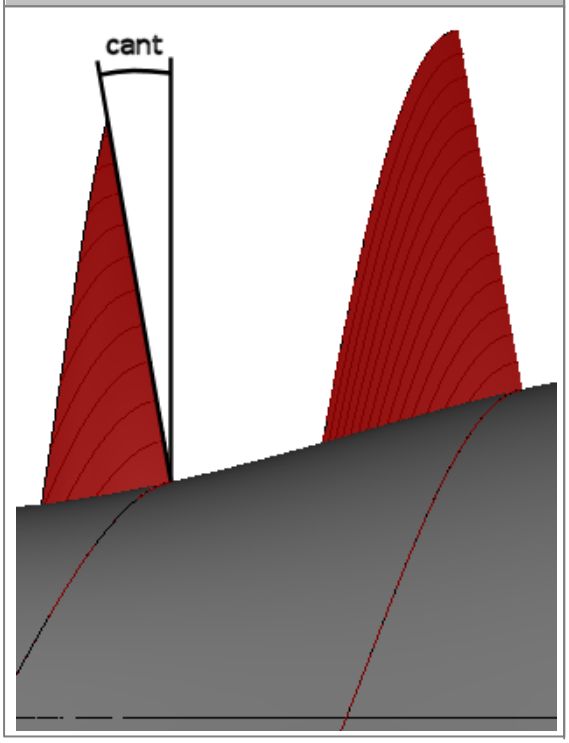
© CFturbo Software & Engineering GmbH

	
Radial element 3D (nur Verdichter und Turbine)	**Freeform 2D**
	
Circular 2D	**Straight 2D**

© CFturbo Software & Engineering GmbH



Helical 3D



Die initiale Schaufelform ist abhängig vom Maschinentyp und kann in den Impeller preferences 152 angepasst werden.

PUMPE	
Radial & Halbaxial	Free-form 3D

© CFturbo Software & Engineering GmbH

+ Schmutzwasser-Pumpen	Free-form 2D
Axial	Free-form 3D
+ Inducer	Helical 3D (Schraubenform)
VENTILATOR	
Radial & Halbaxial	Circular 2D
Axial	Free-form 3D
VERDICHTER	
Radial & Halbaxial	Ruled surface 3D (Regelflächen-Schaufel)
TURBINE	
Radial & Halbaxial	Radial elements 3D 298 (Radialfaser-Schaufel)
Axial	Free-form 3D

Nur die Free-form 3D Schaufelform bietet volle Flexibilität, alle anderen Schaufelformen sind mit Einschränkungen bezüglich Schaufelwinkel-Festlegung und Skelettlinien-Entwurf verbunden.

Werden Zwischenschaufeln (**Splitter blades**) entworfen, kann außerdem festgelegt werden, ob die Zwischenschaufel einer gekürzten Hauptschaufel entspricht (**Splitter blade linked to Main blade**), oder ob die Zwischenschaufel vollkommen unabhängig entworfen werden soll.

Einschränkungen

Schaufelform (Blade shape)	**Zwischenschaufeln (Splitter blades)**	**Meridianform**
Free-form 3D	(keine Einschränkungen)	
Ruled surface 3D		
Radial elements 3D		
Helical 3D	nur für Inducer	
Free-form 2D		nur verfügbar wenn die meridionale Richtung überwiegend radial ist:

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Circular 2D	nicht verfügbar für Zwischenschaufeln	Deckscheibe muss in axialer Richtung von der Tragscheibe um mindestens 50% überlappt werden
Straight 2D		

(3) Festlegung der Schaufeldicken an Vorder- (Leading Edge) und Hinterkante (Trailing Edge) im Bereich Blade thickness s

Die Schaufeldicken sind wichtig für die Berechnung der Schaufelwinkel, da sie den Strömungskanal einengen und somit für eine Beschleunigung der Strömung sorgen.

Durch unterschiedliche Schaufeldicken auf Trag- und Deckscheibeseite kann eine Verjüngung vom Schaufelfuß zur Schaufelspitze realisiert werden. Initiale Dickenwerte basieren auf empirischen Funktionen[135].

2 Laufradtypen weisen spezielle Schaufeldicken auf:

- **Abwasserpumpen** haben sehr hohe Dickenwerte an der Vorderkante, um Ablagerungen von Feststoffen zu vermeiden (10% von d_2 bei 1 Schaufel, 5% von d_2 bei mehreren Schaufeln). Der Rest der Schaufel hat eine geringere Dicke von 30% bezüglich der Maximaldicke an der Vorderkante.
- **Inducer-Pumpen** haben sehr geringe Dickenwerte an der Vorderkante, um die Saugfähigkeit zu erhöhen: 6%...10% der normalen Schaufeldicke.

(4) Angabe des Incidence-Winkels an der Vorderkante (Abweichung von stoßfreier Zuströmung) im Bereich ß1: Incidence

Pumpe, Ventilator, Verdichter		Turbine
aus Verhältnis Q für stoßfreie Zuströmung / Q für max. Wirkungsgrad	$R_Q = Q_{Stoßfrei} / Q_B$	vollautomatisch durch eine von Aungier[305] adaptierte Theorie von **WIESNER**
oder direkt als Incidence-Winkel i (RQ=100% bzw. i=0° entspricht stoßfreier Zuströmung)		*oder* direkt als Incidence Winkel i (i=0° entspricht stoßfreier Zuströmung)
oder aus Verhältnis Incidence-Winkel i /	$i_{Rel} = i / \beta_B$	

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Schaufel-Winkel β_B	

Für Inducer gibt es eine zusätzliche Überprüfung, ob bei großen Förderströmen (Überlast) der Incidence-Winkel > 1° ist, um Druckseiten-Kavitation zu verhindern.

[nur für Pumpen-, Ventilator, Verdichter-Laufräder]

(5) Abschatzung der Minderumlenkung im Bereich β2: Deviation flow – blade

Eines der folgenden Möglichkeiten zur Abschätzung der Minderumlenkung muss genutzt werden:

- **WIESNER** 311 Theorie
  geschlossenes empirisches Modell
- **AUNGIER** 309 Theorie
  geschlossenes empirisches Modell, Erweiterung der Wiesner-Theorie
- **PFLEIDERER** 310 Theorie
  Eingabe des Koeffizienten a
- **User-defined**
  manuelle Vorgabe der Winkelabweichung $ß_{2B}$-$ß_2$ bzw. des Geschwindigkeitsverhältnisses $c_{u2}/c_{u2,\infty}$
- **GUELICH** 312 Theorie (nur für Abwasserpumpen)
  spezielles Modell für den Entwurf von Abwasserpumpen

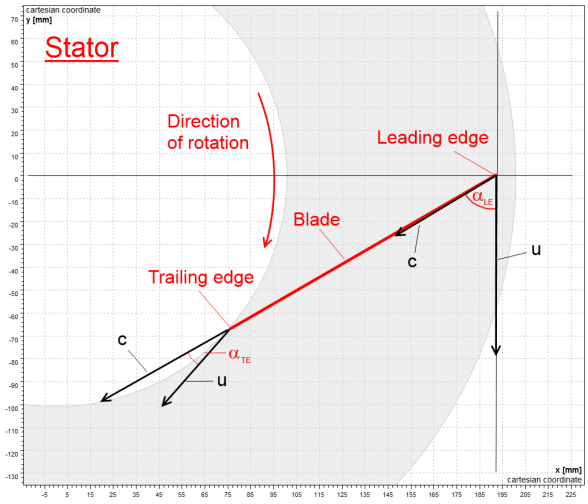
Mögliche Warnungen

Problem	Lösungsmöglichkeiten
Number of blades differ from the initially defined (Main Dimensions). (nur für Abwasserpumpen)	
Die Schaufelzahl unterscheidet sich von der initial ausgewählten, die für empirische Parameter während der Berechnung der Hauptabmessungen 184 benutzt wurde. Dies kann zu einem inkonsistenten Laufrad-Entwurf führen.	Es macht keinen Sinn, unterschiedliche Schaufelzahlen für die Berechnung der Hauptabmessungen und den eigentlichen Schaufelentwurf zu benutzen. Bevor hier die Anzahl der Schaufeln verändert wird, sollte man die Schaufelzahl in den

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Problem	Lösungsmöglichkeiten
	Hauptabmessungen 184 anpassen, die empirischen Parameter und die Hauptabmessungen aktualisieren.
All mean lines except the hub mean line are extrapolated on the leading/ trailing edge. (nur für "Free-form 2D" Schaufelform)	
Die Skelettlinie auf der Tragscheibe wird als Master-Kurve bei "Free-form 2D"-Schaufelformen angesehen. Für diese Schaufelform wird die Geometrie aller anderen Skelettlinien automatisch so angepasst, dass sie die Tragscheiben-Skelettlinie exakt überdecken, wenn man in z-Richtung auf das Laufrad schaut. Dadurch ist die resultierende Schaufelform zweidimensional. Wenn die anderen Kurven Punkte auf größeren/ kleineren Radien an der Austrittskante/ Eintrittskante im Vergleich zum letzten/ ersten Tragscheiben-Punkt haben, so müssen diese Kurven extrapoliert werden.	Für 2D-Schaufelformen sollte man achsparallele (konst. Radius) oder nur leicht geneigte meridionale Kanten entwerfen. **Eintrittskante**: Der Deckscheibenpunkt sollte einen größeren Radius als der Tragscheibenpunkt haben. **Austrittskante**: Der Deckscheibenpunkt sollte einen kleineren Radius als der Tragscheibenpunkt haben.
Ruledsurface blades may have bad quality surfaces in case of just 2 mean lines (nur für "Ruled surface 3D" Schaufelform)	
Bei Laufräder mit Splittern kann es zu welligen Schaufelflächen kommen, wenn nur 2 Profilschnitte verwendet werden.	Die Anzahl der **Profilschnitte** erhöhen (Seite "Blade angles").
"Straight 2D" blade shape is not possible for the current meridional leading edge contour and blade angle combination.	
Die Skelettlinie auf der Tragscheibe wird als Master-Kurve angesehen. Alle anderen Skelettlinien passen sich automatisch an, so dass sie die Tragscheiben-Skelettlinie exakt überdecken, wenn man in z-Richtung auf das Laufrad schaut. Sollten sich die weiteren Skelettlinien darüber hinaus erstrecken, werden diese automatisch extrapoliert. Bei bestimmten Kombinationen von meridionaler Eintrittskante und Schaufelwinkel **βB1** 299 ist eine Extrapolation nicht möglich.	**Eintrittskante** 279: Der Punkt auf der Deckscheibe sollte zu einem größeren Radius hin verschoben werden. **βB1** 299: Der Schaufelwinkel an der Eintrittskante sollte vergrößert werden.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Problem	Lösungsmöglichkeiten
"Straight 2D" blade shape is not possible for the current meridional trailing edge contour and blade angle combination.	
Der Schaufelwinkel ist zu klein oder zu groß gewählt, so dass dadurch der Schaufelentwurf für die gerade Schaufelform unmöglich wird. 	**Austrittskante** 279: Die Kante sollte zu einem größeren Radius hin verschoben werden. **αLE/βLE** 299: Der Schaufelwinkel an der Austrittskante sollte vergrößert werden.

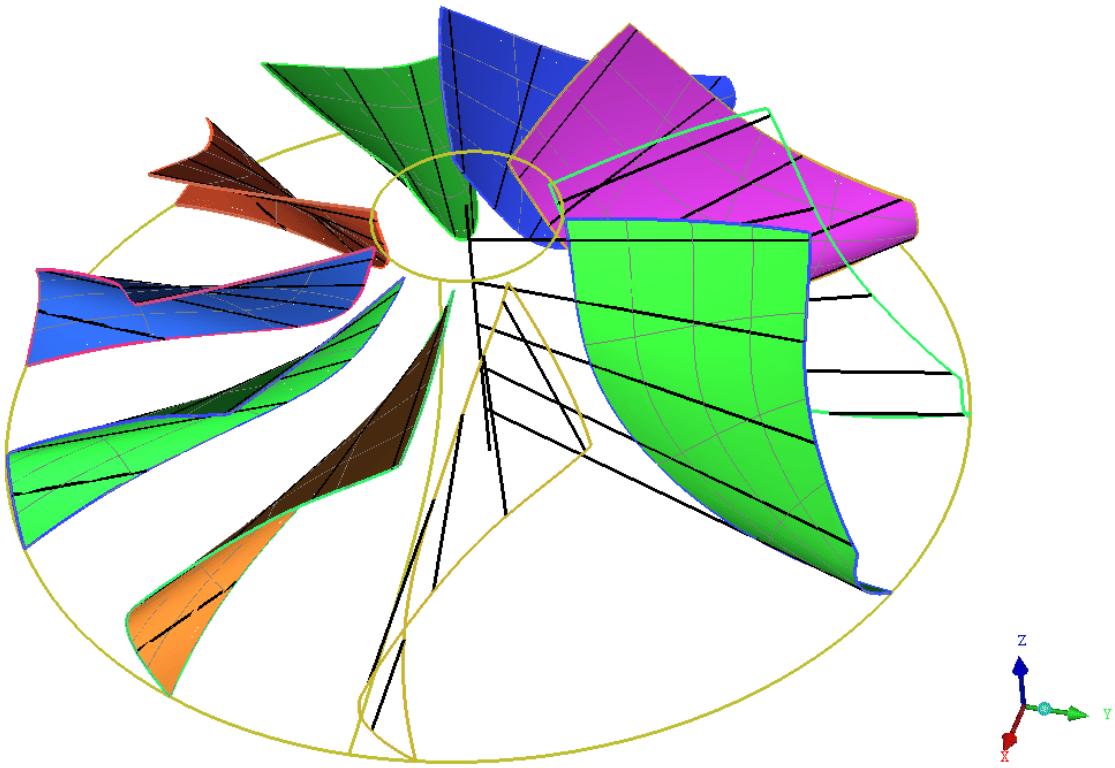
8.3.1.1.1 Radialfaserschaufel

Insbesondere bei hochbelasteten schnelldrehenden Turbinen werden Radialfaserschaufeln eingesetzt, um Biegebeanspruchungen der Schaufeln durch Fliehkräfte zu vermeiden. Die Schaufeln sind dann aus Radialfasern aufgebaut, wenn durch ihre Skelettflächen Geraden gelegt werden können, die durch z = konstant gekennzeichnet sind und die Rotationsachse schneiden.

Radialfaserschaufeln erfordern folgende geometrische Randbedingungen für radiale und halbaxiale Laufräder:

- Schaufelwinkel im Eintritt (Turbinen) bzw. Austritt (alle anderen Typen): $\beta \approx 90°$
- Neigungswinkel 271 von Trag und Deckscheibe gegenuber der Horizontalen: $\varepsilon' < 90°$
- vertikale Austritts- (Turbinen) bzw. Eintrittskante (alle anderen Typen) mit z ≈ konst.
- kleiner Umschlingungswinkel: $\varphi \approx 360°$/Anzahl Schaufeln

© CFturbo Software & Engineering GmbH

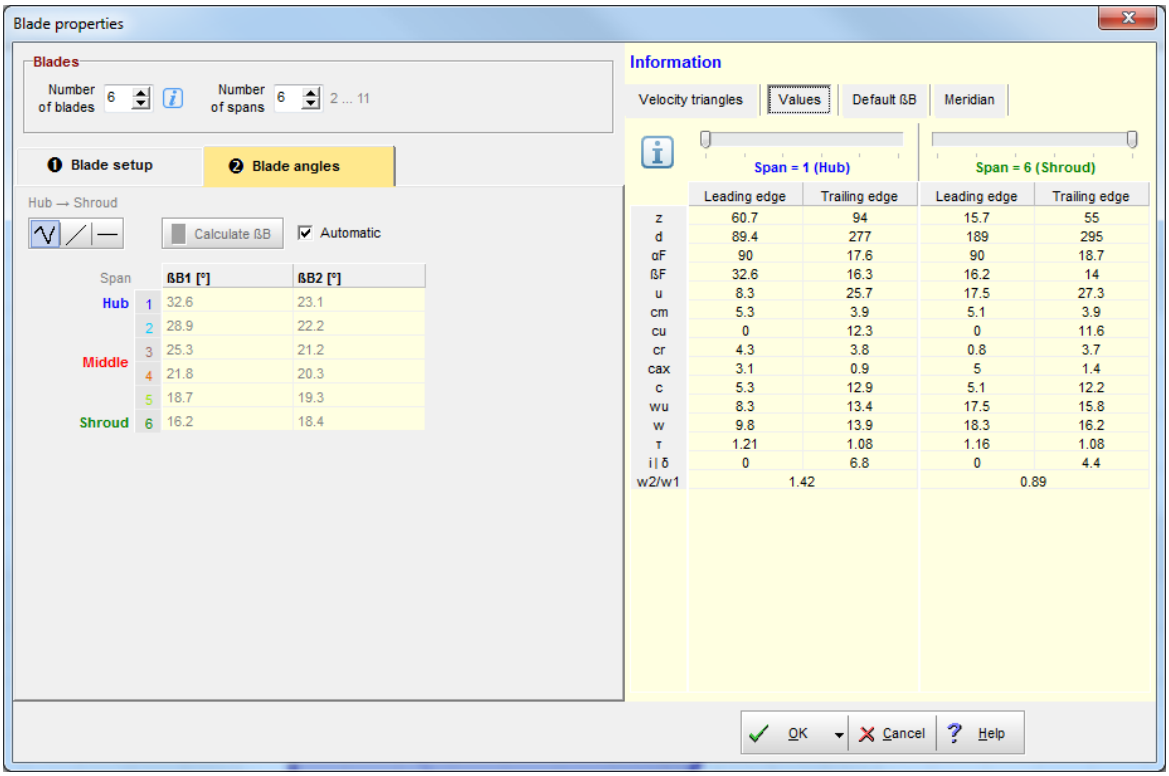


8.3.1.2 Schaufelwinkel

? Impeller | Blade properties

Auf der Registerseite **Blade angles** erfolgt die Berechnung der Schaufelwinkel.

© CFturbo Software & Engineering GmbH



Basierend auf Anzahl und meridionaler Lage der Schaufelprofilschnitte sowie der Schaufelwinkel ergeben sich im weiteren Entwurfs-Verlauf die Skelettlinien. Die Schaufelwinkel β_{B1} und β_{B2} werden über Beziehungen aus den Geschwindigkeitsdreiecken berechnet, wobei der Schaufeleinfluss (Verengung des Strömungskanals) und die Minderumlenkung berücksichtigt werden.

Abhängig von der gewählten Schaufelform reduzieren sich die Freiheitsgrade ihrer Gestaltung. Bezogen auf die Schaufelwinkel wird dies durch **(auto)** gekennzeichnet und bedeutet, dass sich die betreffenden Winkel erst bei Berechnung der Schaufelskelettlinie 312 ergeben.

Distribution from hub to shroud

Die Schaufelwinkel werden für den Innenschnitt (Hub) und den Außenschnitt (Shroud) berechnet. Im Bereich **Distribution from hub to shroud** wird festgelegt, wie die Schaufelwinkel für die innenliegenden Schnitte bestimmt werden.

Blade angles βB

- Festlegen der Anzahl der zu entwerfenden Schaufelprofile (Stromflächen) mit Hilfe des senkrechten Schiebereglers
- Berechnen der Schaufelwinkel unter Nutzung der im Bereich Blade setup 290 eingegebenen

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Werte durch Betätigen des Schalters **Calculate βB**

- bei Bedarf manuelle Veränderung der berechneten Schaufelwinkel

Die Berechnung bzw. Vorgabe der Schaufelwinkel kann auf minimal 2 und maximal 11 Stromflächen erfolgen. Entsprechend dieser Anzahl erfolgt dann im weiteren der Schaufelentwurf. Zur Veranschaulichung werden diejenigen Meridianlinien dargestellt, auf denen später der Schaufelentwurf erfolgt. Die Anzahl kann mit dem Schieberegler links von der Tabelle variiert werden. Standardmäßig sind diese Meridianlinien äquidistant zwischen Trag- und Deckscheibe angeordnet.

Bei der Verwendung von 2D-Schaufelformen kann, abhängig von der Vorderkantenkontur, eine geringe Anzahl ausreichend sein, z.B. falls es sich um eine gerade Eintrittskante handelt. Daher erfolgt der Erstentwurf für Ventilatoren mit 2 Profilschnitten.

Die Schaufelwinkel werden entsprechend den weiter unten dargestellten Gleichungen berechnet und bleiben standardmäßig unverändert, wenn sie einmal festgelegt worden sind. Haben sich entweder bei den Hauptabmessungen oder der Meridiankontur des Laufrades Änderungen ergeben oder andererseits die Werte für Schaufeldicken oder Minderumlenkung verändert, so kann eine Neuberechnung der Schaufelwinkel durch Betätigen des Schalters **Calculate βB** vorgenommen werden. Diese Neuberechnung erfolgt automatisch, wenn die Checkbox **Automatic** markiert ist.

➜ Details zur Berechnung des Eintrittsdreiecks 302

➜ Details zur Berechnung des Austrittsdreiecks 305

(auto)

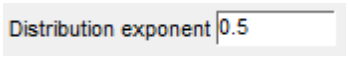
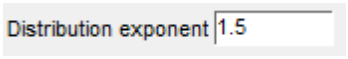
Für spezielle Schaufelformen existieren Einschränkungen bezüglich der Schaufelwinkel und nur die Schaufelwinkel der Master-Meanline (Hub) können berechnet bzw. manuell angepasst werden. Die Winkel aller anderen Schnitte werden automatisch später während des Entwurfs der Skelettlinien 312 berechnet, weil sie von deren Form abhängig sind. Dies wird durch die Beschriftung "(auto)" in der Tabelle veranschaulicht. Das bedeutet, dass eine geometrische Zwangsbedingung basierend auf der gewählten Schaufelform vorliegt, die eine automatische Berechnung der Schaufelwinkel für diese Schnitte erfordert. Die später berechneten Schaufelwinkel werden im Meanline-Dialog im Bereich "Informational values" 320 angezeigt.

Radial element blades

Wenn Radialfaserschaufeln gewählt werden, erfolgt eine automatische Festlegung auf 11 Schaufelprofile. Diese Anzahl kann nicht geändert werden. Außerdem wird ein Verteilungsexponent (**Distribution exponent**) sichtbar, der Einfluss auf die Verteilung der Schaufelprofile und damit insbesondere auf die Gestalt der Eintrittskante (Turbine) hat. Bei stark räumlich gekrümmten Schaufeln kann die Stetigkeit der Schaufelfläche mit diesem Parameter beeinflusst werden.

Verteilungsexponent	Wirkung
Distribution exponent 1	Wert 1: Schaufelprofile gleichverteilt (Standard)

© CFturbo Software & Engineering GmbH

	Wert<1: Schaufelprofile in Richtung Deckscheibe verdichtet
	Wert>1: Schaufelprofile in Richtung Tragscheibe verdichtet

Circular blades

Für Kreisbogenschaufeln wird unterhalb der Schaufelwinkel-Tabelle der Radius R der Schaufel informativ dargestellt. Dieser Radius ist abhängig von den Radien r_1, r_2 und Schaufelwinkeln β_{B1}, β_{B2} an Vorder- und Hinterkante. Wenn die Berechnung der Kreisbogenschaufel nicht möglich ist, wird ein entsprechendes Warnsymbol angezeigt.

Mögliche Warnungen

Problem	Lösungsmöglichkeiten
Blade angles are updated automatically. Therefore geometry modifications are possible.	
Schaufelwinkel werden automatisch aktualisiert sobald Input-Parameter verändert werden.	Um die Schaufelwinkel zu fixieren kann die automatische Berechnung ("Automatic") deaktiviert werden. In diesem Fall muss die Neuberechnung der Schaufelwinkel bei Bedarf manuell erfolgen.
Blade angles are not updated automatically. Therefore the design could be not up-to-date.	
Schaufelwinkel werden nicht automatisch aktualisiert sobald Input-Parameter verändert werden.	Um sicherzustellen, dass alle Änderungen von Input-Parametern berücksichtigt werden, kann die automatische Berechnung ("Automatic") aktiviert werden.

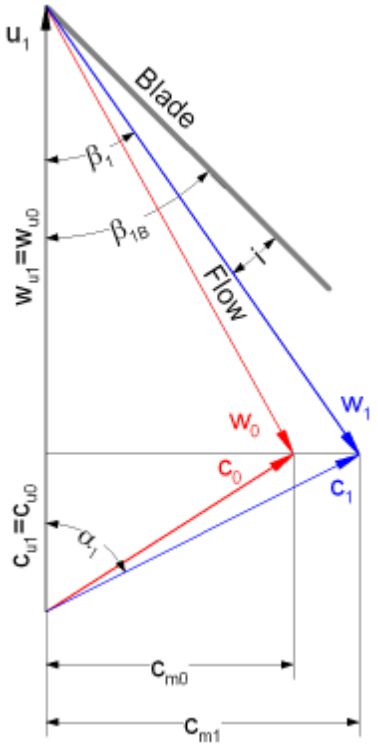
8.3.1.2.1 Eintrittsdreieck

Das Eintrittsdreieck wird bestimmt durch die Zuströmparameter und die geometrischen Abmessungen an der Schaufelvorderkante.

Im Bereich vom Saugmund bis zur Schaufelvorderkante bleibt der Drall konstant, da nur im Schaufelbereich eine Energieübertragung auf das Fluid stattfinden kann. Die Querschnitte 0 und 1 (siehe Hauptabmessungen 181) unterscheiden sich nur dadurch, dass im Querschnitt 1 eine

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Verengung des Strömungsquerschnittes durch die Schaufelversperrung τ_1 auftritt, die eine Vergrößerung der Meridiangeschwindigkeit c_m zur Folge hat.



$$\tan\beta_1 = \frac{c_{m1}}{w_{u1}}$$

$$c_{m1} = c_{m0}\,\tau_1$$

$$\tau_1 = \frac{t_1}{t_1 - \sigma_1} \quad \text{mit} \quad t_1 = \frac{\pi d_1}{z},\ \sigma_1 = \frac{s_1}{\sin\beta_{1B}}$$

$$c_{m0} = Q/(\pi d_1 b_1)$$

$$w_{u1} = u_1 - c_{u1}$$

$$u_1 = \pi d_1 n$$

$$c_{u1} = c_{uS}\frac{r_S}{r_1} = u_S(1-\delta_r)\frac{r_S}{r_1}$$ (konst. Drall im Vorbereich)

Der gewahlte Schaufelwinkel β_{1B} beeinflusst das Geschwindigkeitsdreieck nur indirekt durch die Verdrängungswirkung der Schaufel. Die Differenz zwischen gewahltem Schaufelwinkel β_{1B} und Stromungswinkel β_1 wird als Anstellwinkel i (incidence) bezeichnet: $i = \beta_{1B}-\beta_1$

In der Regel wird ein stoßfreier Eintritt (i=0) angestrebt. Bei i≠0 wird die Vorderkante umströmt, was hohe örtliche Geschwindigkeiten und damit niedrige statische Drücke zur Folge hat:

- i > 0: $\beta_1 < \beta_{1B} \rightarrow$ Staupunkt auf Druckseite
- i < 0: $\beta_1 > \beta_{1B} \rightarrow$ Staupunkt auf Saugseite

Ein relativ kleiner Anstellwinkel i kann im Bestpunkt von Vorteil im Hinblick auf den Wirkungsgrad sein. Bei der Berechnung von β_{1B} wird im Programm eine stoßfreie Anströmung gewährleistet.

Typische Eintritts-Schaufelwinkel sind:

Pumpen, Ventilatoren	$\beta_{1B} < 40°$ im Hinblick auf optimalen Wirkungsgrad

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Pumpen	β_{1B} so klein wie möglich wegen Kavitationssicherheit; im Hinblick auf hohen Wirkungsgrad nicht kleiner als 15…18°
Verdichter	optimaler Schaufelwinkel β_{1B} etwa 30°

Wenn sich die Radien der Eintrittskante auf Trag- und Deckscheibe stark unterscheiden, so muss die Schaufel zur Gewährleistung stoßfreier Zuströmung an der Vorderkante verwunden ausgeführt werden. Wird die Schaufelvorderkante weit in den Saugmund vorgezogen, so muss β_{1B} auf der Tragscheibe (innen) erheblich größer ausgeführt werden als auf der Deckscheibe (außen).

Mögliche Warnungen

Problem	Lösungsmöglichkeiten
Leading edge blade angle β1 > 40° (nur Pumpen, Ventilatoren)	
Ungewöhnlich große Schaufel-Eintrittswinkel. Bei Pumpen und Ventilatoren treten normalerweise kleine Eintrittswinkel auf.	Zu große Werte deuten auf einen zu schmalen Eintrittsquerschnitt hin. Saugmunddurchmesser d_S vergrößern (Hauptabmessungen 181)
Leading edge blade angle ß1 < 10°	
Unusual low inlet blade angles.	Zu kleine Werte für den Eintrittswinkel deuten auf einen zu großen Eintrittsquerschnitt hin. Saugmunddurchmesser d_S verkleinern (Hauptabmessungen 181)
The blade angles are not within the valid range.	
Die Anwendung von CFturbo ist begrenzt auf Eintrittswinkel zwischen 0° und 180°.	Die Berechnung der Schaufelwinkel ist nicht möglich (siehe unten) bzw. unpassende Eingabedaten müssen korrigiert werden.
ßB indeterminate. It's not possible to determine blade angle ßB.	
Die Berechnung der Schaufelwinkel ist nicht möglich.	Eingabeparameter und Geometrie überprüfen.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

[nur für Turbinen-Laufräder]

Im Fall der **Turbine** kann die Anstellwinkelberechnung nach Aungier[309] angewendet werden.

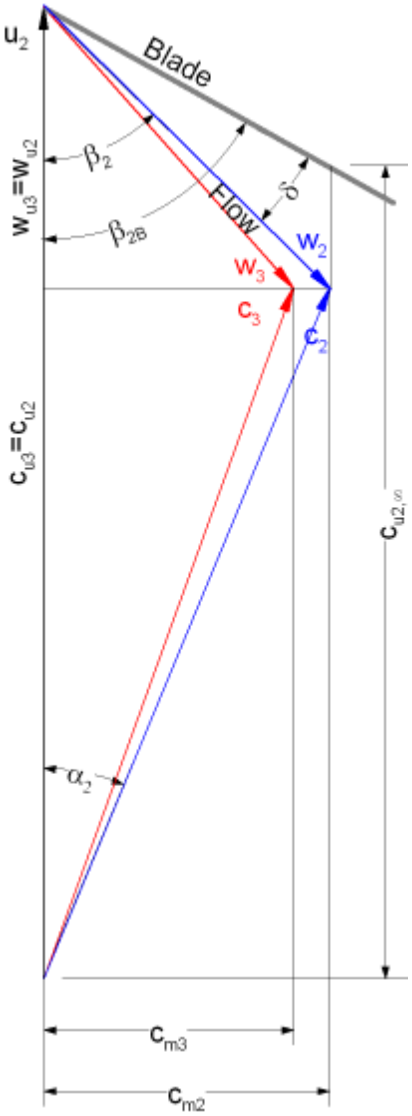
In Anlehnung an die Minderumlenkung wird der Slip-Koeffizient γ dabei definiert mit:

$$\gamma = 1 - \frac{c_{u1\infty} - c_{u1}}{u_2}$$

8.3.1.2.2 Austrittsdreieck

Das Austrittsdreieck wird bestimmt durch die geometrischen Abmessungen des Strömungskanals und den gewahlten Schaufelwinkel β_{2B}. Da dieser Winkel in starkem Maße die Arbeitsübertragung im Laufrad beeinflusst, muss dieser sehr sorgfältig gewählt werden.

© CFturbo Software & Engineering GmbH



Analog zum Eintrittsdreieck unterscheiden sich die Geschwindigkeitsdreiecke in den Querschnitten 2 und 3 durch die Schaufelversperrung τ_2.

$$\tan\beta_2 = \frac{c_{m2}}{w_{u2}}$$

$$c_{m2} = c_{m3}\tau_2$$

$$\tau_2 = \frac{t_2}{t_2 - \sigma_2} \quad \text{with} \quad t_2 = \frac{\pi d_2}{z}, \sigma_2 = \frac{s_2}{\sin\beta_{2B}}$$

$$c_{m3} = Q/(\pi d_2 b_2)$$

$$w_{u2} = u_2 - c_{u2}$$

$$u_2 = \pi d_2 n$$

$$c_{u2} = \frac{Y/\eta_h + u_1^2(1-\delta_r)}{u_2}$$

$$\text{from}: \tilde{Y} = \frac{Y}{\eta_h} = u_2 c_{u3} - u_1 c_{u0}$$

Fur die Bestimmung von β_{2B} muss unbedingt beachtet werden, dass die Richtung der Relativströmung w_2 am Laufradaustritt nicht mit dem Schaufelwinkel β_{2B} übereinstimmt. Vielmehr wird der Stromungswinkel β_2 aufgrund der Minderumlenkung immer kleiner als der Schaufelwinkel β_{2B} sein. Die Differenz zwischen β_{2B} und β_2 wird als Deviationswinkel δ bezeichnet:

Der Deviationswinkel sollte 10°...14° nicht überschreiten, um erhöhte Verwirbelungsverluste durch ungleichmäßige Strömungsverteilung zu begrenzen.

Der verkleinerte Stromungswinkel β_2 führt zu einer geringeren Umfangskomponente der

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Absolutgeschwindigkeit c_{u2}, die nach der Eulerschen Hauptgleichung maßgebend für die Arbeitsubertragung ist. Der Schaufelwinkel β_{2B} muss für schaufelkongruente Strömung mit Hilfe von $c_{u2,\infty}$ (siehe Abbildung) berechnet werden. Das macht eine Abschätzung der Minderumlenkung notwendig.

Die Minderumlenkung kann aufgrund der Komplexität der Strömung nicht mit einfachen Mitteln berechnet werden, so dass empirische Verfahren zur Abschätzung genutzt werden. Es stehen 3 alternative Möglichkeiten zur Verfügung (nicht für **Turbinen**):

➜ (1) Minderleistungstheorie nach PFLEIDERER 310

➜ (2) Abströmbeiwert nach WIESNER 311

➜ (2) Abströmbeiwert nach AUNGIER 309

Der Schaufelwinkel β_{2B} wird so groß gewählt, dass unter Beachtung der Minderumlenkung die geforderte Arbeitsübertragung gewährleistet und somit die angestrebte Förderhöhe bzw. Druckdifferenz erreicht wird.

Es existieren folgende Richtwerte fur gebrauchliche Schaufelwinkel β_{2B} in Hinblick auf optimalen Wirkungsgrad:

Pumpen	15°...45°, häufig ausgeführt 20°...27°
Ventilatoren	sollte keinesfalls 50° überschreiten
Verdichter	35°...50°, halboffene Laufräder bis 70°...90°
Turbinen	radienabhängig, siehe Sinus-Regel 323

Bei radialen Laufrädern - mit Ausnahme der Turbinen - mit niedriger spezifischer Drehzahl nq ergeben sich gewohnlich sehr ahnliche Werte fur β_{2B} auf allen Schnitten. In der Regel werden die Schaufeln dann an der Hinterkante unverwunden ausgefuhrt (β_{2B}=konst.). Bei Turbinen-Laufrädern sind die Radien der Austrittskante zwischen Trag- und Deckscheibe sehr unterschiedlich, so dass die Werte fur β_{2B} auf den einzelnen Schnitten sehr verschieden sind und somit die Schaufeln stark verwunden sind.

Mögliche Warnungen

Problem	Lösungsmöglichkeiten
Trailing edge blade angle ß2 < 10°	

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Problem	Lösungsmöglichkeiten
Es treten ungewöhnlich kleine Austrittswinkel auf.	Zu kleine Werte für den Austrittswinkel deuten auf einen zu großen Austrittsquerschnitt hin. Laufradurchmesser d_2 oder Austrittsbreite b_2 verringern (Hauptabmessungen 181)
The deviation (slip) between blade and flow Delta > 20° (nur Pumpen, Ventilatoren, Verdichter)	
Es tritt eine ungewöhnlich große Minderumlenkung (Abweichung zwischen Schaufel- und Strömungsrichtung am Austritt) auf. Zu große Minderumlenkung deutet auf eine zu starke Belastung der Schaufel hin.	Mögliche Lösungen könnten sein: Vergrößerung des Laufraddurchmessers (Hauptabmessungen 181), Erhöhung der Schaufelzahl, Erhöhung der meridionalen Schaufellänge (Meridianschnittkontur 262), Auswahl eines anderen Minderumlenkungs-Modells
Trailing edge blade angle ßB2 > 90°.	
Die Schaufelwinkel am Austritt sind ungewöhnlich groß. Die Schaufeln sind vorwärts gekrümmt.	Laufradurchmesser d_2 oder Austrittsbreite b_2 vergrößern (Hauptabmessungen 181) bzw. slip coefficient γ erhohen
The blade angles are not within the valid range.	
Die Anwendung von CFturbo ist begrenzt auf Austrittswinkel zwischen 0° und 180°.	Die Berechnung der Schaufelwinkel ist nicht möglich (siehe unten) bzw. unpassende Eingabedaten müssen korrigiert werden.
ßB indeterminate. It's not possible to determine blade angle ßB.	
Die Berechnung der Schaufelwinkel ist nicht möglich.	Laufradurchmesser d_2 oder Austrittsbreite b_2 vergrößern bzw. slip coefficient γ erhohen
The deviation (slip) between blade and flow δ is unrealistic high. Check deviation model and/or values.	
Die Berechnung der Minderumlenkung ergibt einen Wert größer als 90°, was unrealistisch ist.	Mögliche Lösungen könnten sein: Vergrößerung des Laufraddurchmessers (Hauptabmessungen 181), Erhöhung der Schaufelzahl, Erhöhung der meridionalen Schaufellänge (Meridianschnittkontur 262), Auswahl eines anderen Minderumlenkungs-Modells

© CFturbo Software & Engineering GmbH

8.3.1.2.2.1 Abströmbeiwert nach AUNGIER

Für die Minderumlenkung wird der Abströmbeiwert γ definiert:

$$\gamma = 1 - \frac{c_{u2\infty} - c_{u2}}{u_2}$$

Die c_u-Differenz wird auch als Schlupfgeschwindigkeit (slip velocity) bezeichnet.

Je kleiner der Abströmbeiwert, desto stärker ist die Abweichung der Strömung von der durch die Schaufel vorgegebenen Abströmrichtung (γ = 1: schaufelkongruente Strömung).

Aungier passte Wiesners [311] originale empirische Gleichung zur Vorausberechnung des Abströmbeiwertes an:

$$\gamma = 1 - \frac{\sqrt{\sin \beta_{2B}}}{z^{0.7}}$$

Das limitierende Verhaltnis der Radien ε_{Lim} ist gegeben durch:

$$\varepsilon_{Lim} = \frac{\gamma - \sin\left(19° + 0.2\beta_{2B}\right)}{1 - \sin\left(19° + 0.2\beta_{2B}\right)}$$

Der Abstrombeiwert wird korrigiert bei Radienverhaltnissen $\varepsilon = r/r_2 > \varepsilon_{Lim}$ mit:

$$\gamma_{cor} = \gamma\left(1 - \left(\frac{\varepsilon - \varepsilon_{Lim}}{1 - \varepsilon_{Lim}}\right)^{\sqrt{\beta_{2B/10}}}\right)$$

[Nur Verdichter]

Bei Vorliegen von Zwischenschaufeln wird mit einer korrigierten Anzahl von Schaufeln gerechnet. Die Schaufelanzahl wird dabei mit der relativen Zwischenschaufellänge bezogen auf die Hauptschaufellänge korrigiert.

Damit ergibt sich die Umfangskomponente der schaufelkongruenten Strömung zu:

© CFturbo Software & Engineering GmbH

8.3.1.2.2.2 Abströmbeiwert nach PFLEIDERER

Die verminderte Arbeitsübertragung wird durch die Minderleistungszahl p ausgedrückt:

$$p = \frac{\tilde{Y}_{\infty}}{\tilde{Y}} - 1$$

Diese Zahl kann empirisch in Abhängigkeit von einer Erfahrungszahl ψ' bestimmt werden:

$$p = \psi' \frac{r_2^2}{zS}$$

$$S = \int_{r_1}^{r_2} r dx$$ statisches Moment zwischen Ein- und Austrittskante

$$\psi' = a\left(1 + \beta_2 / 60^{\circ}\right)$$ Erfahrungszahl

Konstruktionskonstante a:

Radialrad	mit beschaufeltem Leitrad	a = 0.6
	mit Spiralgehäuse	a = 0.65…0.85
	mit glattem Leitring	a = 0.85…1.0
Halbaxial-/Axialrad		a = 1.0 …1.2

(für „genügend große" Re; ψ' wächst stark bei kleinen Re)

Anschaulicher als die Minderleistungszahl p ist der Minderleistungsfaktor k_L:

(k_L=1: schaufelkongruente Strömung)

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Damit ergibt sich die Umfangskomponente der schaufelkongruenten Strömung zu

$$c_{u2\infty} = \frac{c_{u2}}{k_L} - \frac{r_1^2}{r_2}\left(\frac{1}{k_L} - 1\right) 2\pi n\left(1 - \delta_r\right)$$

Damit kann der Abströmbeiwert γ nach Wiesner 311 berechnet werden:

$$\gamma = 1 - \frac{c_{u2\infty} - c_{u2}}{u_2}$$

8.3.1.2.2.3 Abströmbeiwert nach WIESNER

Fur die Minderumlenkung wird der Abstrombeiwert γ definiert:

$$\gamma = 1 - \frac{c_{u2\infty} - c_{u2}}{u_2}$$

Die c_u-Differenz wird auch als Schlupfgeschwindigkeit (slip velocity) bezeichnet.

Je kleiner der Abströmbeiwert, desto stärker ist die Abweichung der Strömung von der durch die Schaufel vorgegebenen Abstromrichtung (γ = 1: schaufelkongruente Strömung).

Wiesner entwickelte eine empirische Gleichung zur Vorausberechnung des Abströmbeiwertes:

$$\gamma = 1 - \frac{\sqrt{\sin\beta_{2B}}}{z^{0.7}}$$

Gülich erweiterte die Formel um zwei Korrekturfaktoren:

$$\gamma = f_1\left(1 - \frac{\sqrt{\sin\beta_{2B}}}{z^{0.7}}\right) k_w$$

mit Korrekturfaktoren:

$$f_1 = \begin{cases} 0.98 & \text{für radiale Laufräder} \\ 1.02 + 1.2\cdot 10^{-3}\left(n_q - 50\right) & \text{für halbaxiale Laufräder} \end{cases}$$

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Damit ergibt sich die Umfangskomponente der schaufelkongruenten Strömung zu:

$$c_{u2\infty} = c_{u2} + (1-\gamma)u_2$$

Im Gegensatz zu Wiesners originalem Vorschlag wird nicht der mittlere Eintrittsdurchmesser d_{1m} in der Berechnung des Korrekturfaktors k_w in CFturbo verwendet sondern die Eintrittsdruchmesser an Trag- und Deckscheibe. Dadurch können Abströmbeiwerte an Trag- und Deckscheibe bestimmt werden. Ein mittlere Abströmbeiwert wird berechnet mit:

$$\gamma = 0.5(\gamma_{Hub} + \gamma_{Shroud})$$

Die Unterscheidung zwischen der Bestimmung des Korrekturfaktors f_1 für radiale bzw. halbaxiale Laufräder erfolgt durch:

$$f_1 = \max\left(0.98, 1.02 + 1.2 \cdot 10^{-3}(n_q - 50)\right)$$

8.3.1.2.2.4 Abströmbeiwert nach GÜLICH (Abwasserpumpen)

Für Abwasserpumpen hängt der Abströmbeiwert primär von der Schaufelzahl ab.

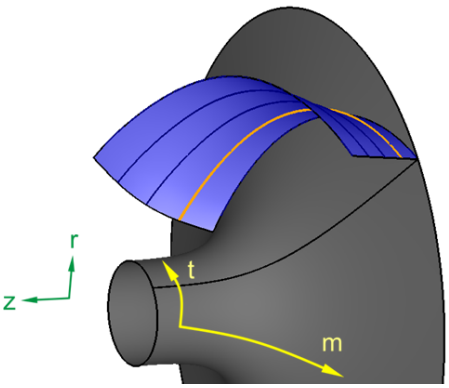
Die Tabelle enthalt typische Werte fur den Abstrombeiwert γ:

Schaufelzahl	Abstrombeiwert γ
1	0.48 ... 0.6
2	0.53 ... 0.65
3	0.67 ... 0.75

8.3.2 Schaufelskelettlinien

? Impeller | Blade mean lines

Der Entwurf der Schaufelskelettlinien (Schaufelspuren) erfolgt auf der Anzahl von Meridianstromflächen, die in den Schaufel-Eigenschaften 287 festgelegt worden sind.



Die räumlich gekrümmten Meridianstromflächen werden durch Koordinatentransformation auf eine Ebene abgebildet. Das entstehende Koordinatensystem besitzt als Abszisse den Winkel in Umfangsrichtung t und als Ordinate die dimensionslose meridionale Erstreckung m.

Beide Größen entstehen durch den Bezug der absoluten Wegelemente in tangentialer (T) und meridionaler Richtung (M) auf den örtlichen Radius r:

$$dm = \frac{dM}{r} \qquad dt = \frac{dT}{r}$$

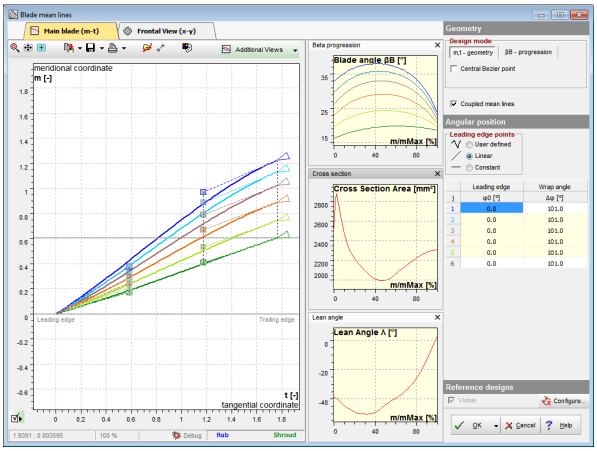
$$\tan\beta = \frac{dm}{dt}$$

Diese konforme Abbildung ermöglicht die einheitliche Behandlung unterschiedlicher Gittertypen (radial, halbaxial, axial).

Zu beachten ist, dass für jede Meridianstromfläche eine separate m-Koordinate existiert.

Design mode

Generell können die Skelettlinien auf 2 verschiedenen Wegen entworfen werden. Im Bereich Design mode kann gewählt werden zwischen:



m,t-geometry

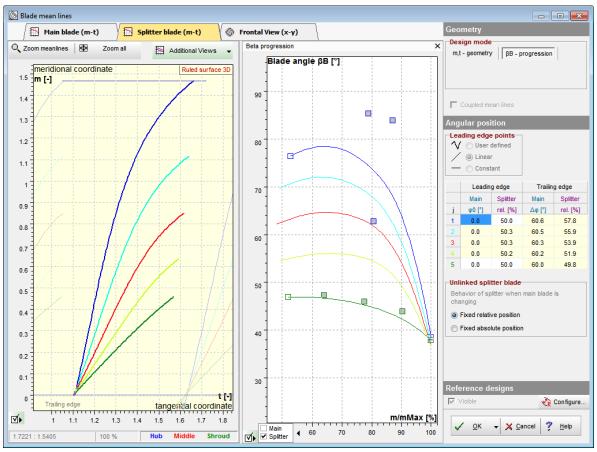
Die Schaufel wird in der konformen m,t-Darstellung als Bezierkurve entworfen. Die Beta-Verläufe werden berechnet und zur Kontrolle im entsprechenden Diagramm als zusätzlicher Verlauf dargestellt.

Spezielle Display-Option für Splitter-Schaufeln:
Mit "**Splitter blade relative to main blade**" haben korrespondierende Skelettlinien (splitter und main) den gleichen Maximalwert von m. Anderenfalls haben alle Skelettlinien den gleichen Maximalwert von m wie die Tragscheiben-Skelettlinie der Hauptschaufel.

Die Sichtbarkeit der inneren Skelettlinien

© CFturbo Software & Engineering GmbH

kann per Checkbox "**Inner mean lines**" beeinflusst werden.



βB progression

Die Schaufel wird als Beta-Verlauf mit Hilfe von Bezierkurven entworfen. Die m,t-Verläufe werden berechnet und informativ dargestellt.

Spezielle Display-Option für Splitter-Schaufeln:
Die Sichtbarkeit der Haupt- und Zwischenschaufel-Kurven kann durch die entsprechenden Checkboxen beeinflusst werden.

Je nach gewählter Schaufelform (siehe Schaufel-Eigenschaften 287) wird die Gestaltung der Schaufelskelettlinien mehr oder weniger eingeschränkt.

- Freiform-Schaufeln, 2D-Schaufeln, Radialfaserschaufeln 316
- Kreisbogenschaufeln, Gerade Schaufeln 319

Die Beschaufelung eines Laufrades stellt ein Verzögerungsgitter für die Relativgeschwindigkeit dar und ist daher ablösegefährdet. Demnach ist auf eine gleichmäßige Richtungsänderung der Strömung und einen möglichst stetigen Querschnittsverlauf der Strömungskanäle zu achten.

Wenn das Laufrad ungelinkte Splitter-Schaufeln hat (siehe Schaufel-Eigenschaften 287), so kann im Bereich **Unlinked splitter blades** festgelegt werden, wie sich die Splitter-Schaufel bei einer Änderung der Hauptschaufel verhält:

Unlinked splitter blade
Behavior of splitter when main blade is changing
Fixed relative position
Fixed absolute position

- Rel. Lage zur Hauptschaufel bleibt erhalten
- Abs. Position der Splitterschaufel bleibt erhalten

Auf der Registerseite **Frontal view** (Umschaltung oberhalb des Diagramms) sind die entworfenen Skelettlinien im Achsnormalschnitt (Frontalansicht) einschließlich der Durchmesser d_N und d_2 dargestellt.

Weitere Schaufel-Informationen werden zur Kontrolle des Entwurfs und zur Information in Tabellen und Diagrammen dargestellt:

© CFturbo Software & Engineering GmbH

- Zusätzliche Darstellungen 320

Der Schaufel-Neigungswinkel lässt sich nur indirekt beeinflussen:

- Schaufel-Neigungswinkel 324

- Blade lean angle 324

Mögliche Warnungen

Problem	Lösungsmöglichkeiten
Blade angles βB1, βB2 and meridional/ tangential blade extension could result in a nontypical blade shape.	
Blade angles βB1, βB2 and meridional/ tangential blade extension could result in an extreme blade shape.	
Die Werte fur die Schaufelwinkel βB1, βB2 und die meridionale und tangentiale Erstreckung der Schaufeln führen höchstwahrscheinlich zu ungewöhnlichen bzw. entarteten Schaufelformen. Um Folgeprobleme zu vermeiden, wird vor solchen Skelettlinien gewarnt bzw. sie werden vollständig blockiert.	In diesen Fällen ist die Schaufel sehr stark gekrümmt oder hat eine S-Form. Um eine vernünftige Schaufel zu entwerfen darf der Umschlingungswinkel weder zu klein noch zu groß sein. Sie können a) den Umschlingungswinkel φ der Schaufeln an- passen (Überlappung der Schaufeln überprüfen) oder b) die Schaufelwinkel βB1 und βB2 anpassen (wahrscheinlich ist eine Anpassung der Hauptab- messungen erforderlich)
Overlapping of neighboring blades seems to be too small. Overlapping of neighboring blades seems to be too high.	
Die Überlappung benachbarter Schaufeln ist zu klein bzw. zu groß.	Veranderung des Umschlnigungswinkels φ der Schaufeln oder der Schaufelzahl (siehe Schaufelwinkel 299).
High tangential leading edge sweep angle requires high number of blade sections.	
Die Vorderkanten-Pfeilung (tangentiale Differenz	Erhöhung der Anzahl der Schaufelschnitte -

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Problem	Lösungsmöglichkeiten
zwischen Tragscheiben- und Deckscheiben-Skelettlinie an der Vorderkante) ist hoch. Diese gekrümmte Form erfordert eine Mindestanzahl an Schaufelschnitten, um ungewöhnliche bzw. entartete Schaufelformen zu vermeiden. Für diesen Test existiert ein Warnungs- und ein Fehler-Level.	siehe Schaufelwinkel 299.
It's not possible to keep the meridional boundary conditions for this blade shape.	
Die r, z-Koordinaten an der Vorder-/ Hinterkante einer oder mehrerer Skelettlinien stimmen nicht mit deren meridionaler Position überein.	Meridiankontur, Schaufeltyp und Skelettlinien überprüfen.

8.3.2.1 Freiform-Schaufeln, 2D-Schaufeln, Radialfaserschaufeln

Freiform-Schaufeln besitzen alle Freiheitsgrade, so dass die Skelettlinien aller Schaufelprofile direkt verändert werden können.

Bei 2D-Schaufeln und Radialfaserschaufeln kann nur die Skelettlinie der Tragscheibe in ihrer Form beeinflusst werden, alle übrigen Skelettlinien werden durch die Zwangsbedingungen der Schaufelform automatisch entsprechend der Tragscheiben-Skelettlinie berechnet.

Die Darstellung der Skelettlinien erfolgt im Normalfall mit einem Bezierpolynom 3. Grades. Randbedingungen (Tabelle Constraints) sind:

- meridionale Erstreckung dm (siehe Meridiankontur 262)
- Startwinkel φ_0
- Umschlingungswinkel $\Delta\varphi$

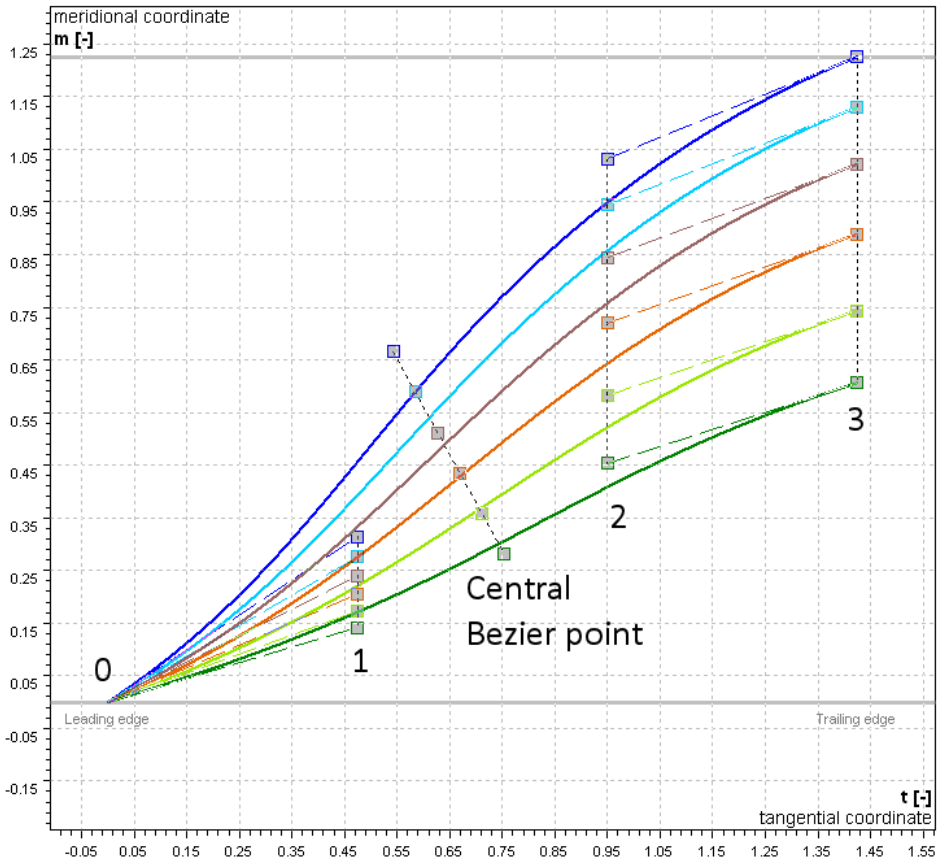
Der Startwinkel φ_0 definiert den Startpunkt der Skelettlinien. Der absolute Wert spielt keine Rolle, nur die Lage der einzelnen Skelettlinien zueinander kann beeinflusst werden. Haben alle Skelettlinien denselben Startpunkt, so beginnt die Eintrittskante auf allen Schnitten bei derselben Winkelposition (radiale Eintrittskante). Unter **Leading edge points** kann gewählt werden, ob die Position der Punkte 0 der einzelnen Skelettlinien konstant (**Constant**), linear (**Linear**) oder vollkommen frei positionierbar (**User defined**) ist.

Der Umschlingungswinkel $\Delta\varphi$ kann für Innen- (Tragscheibe) und Außenschnitt (Deckscheibe) zahlenmäßig vorgegeben werden, dazwischen wird linear interpoliert.

Um eine stetige Veränderung der Spuren und damit der Schaufelfläche quer zur Strömungsrichtung zu erzwingen, werden die zusammengehörigen Punkte eines jeden Schnittes durch eine Verbindungsgerade linear gekoppelt (**Coupled linear**). Wird diese Option deaktiviert, so können die

© CFturbo Software & Engineering GmbH

einzelnen Skelettlinien inklusive der einzelnen Umschlingungswinkel $\Delta\varphi$ vollkommen unabhängig voneinander verändert werden.



Nach dem automatischen Erstentwurf ist der Punkt 0 (Eintrittskante) für alle Schnitte durch die tangentiale Koordiante t=0 und die Meridiankoordinate m=0 festgelegt, der Punkt 3 durch die Meridiankoordinate der Austrittskante (dm) für den jeweiligen Schnitt und den Umschlingungswinkel $\Delta\varphi$. Der initiale Umschlingungswinkel $\Delta\varphi$ basiert auf empirischen Funktionen 135.

Im Fall von Zwischenschaufeln (**Splitter blades**) hängen die zur Verfügung stehenden Gestaltungsmöglichkeiten davon ab, ob eine Verlinkung zwischen Haupt- und Zwischenschaufel in den **Blade properties** 299 aktiviert wurde. Ist dort **Splitter blade linked to Main blade** aktiviert worden, so entspricht die Zwischenschaufel einer verkürzten Hauptschaufel. Die Winkel ergeben sich automatisch durch die Werte der Hauptschaufel auf den Radien, ebenso die Umschlingung. In jedem Fall kann die relative Startposition der Schaufel zwischen den benachbarten Hauptschaufeln verändert werden. Sie ist jedoch nicht benutzerdefiniert änderbar wie der Startwinkel φ_0.

Falls keine Kopplung zwischen Haupt- und Zwischenschaufeln gewählt wurde, sind die Zwischenschaufeln frei gestaltbar.

Die m-t-Darstellung der Zwischenschaufeln erfolgt auf einer extra Registerkarte (**Splitter blade (m-t)**). Zusätzlich werden die Haupt- bzw. Zwischenschaufeln in der m-t-Darstellung der jeweils anderen angezeigt um die Abstände zu visualisieren. Standardmäßig werden sie ihrer m-Koordinate nach immer relativ zueinander positioniert. Dies kann unter **Display options** durch Auswahl der **Splitter**

© CFturbo Software & Engineering GmbH

to main position (m-t) geändert werden.

Im Fall der **Turbine** sind die Verhältnisse umgekehrt: Die Eintrittskante befindet sich bei großen Meridiankoordinaten, die Austrittskante bei Null.

Der Umschlingungswinkel $\Delta\varphi$ ist anfangs für alle Schnitte gleich groß, kann jedoch frei gewählt werden. Der Umschlingungswinkel beeinflusst in starkem Maße den Verlauf des Schaufelwinkels β_B entlang der Skelettlinien.

Die beiden mittleren Punkte 1 und 2 mussen auf einer Geraden mit einem Winkel von β_{B1} bzw. β_{B2} zur Horizontalen liegen, um den Randbedingungen zu genugen: tan β = dm/dt

Beim automatischen Erstentwurf liegen die Punkte 2 bei 1/4 des Umschlingungswinkels, die Punkte 1 bei 3/4.

Die einzelnen Skelettlinien können unabhängig voneinander gestaltet werden. Ist die lineare Kopplung (**Coupled linear**) aktiv, so kann die Verbindungsgerade verschoben und gedreht werden. Die Bezierpunkte der einzelnen Skelettlinien werden dementsprechend verschoben und damit alle Profile gleichmäßig verändert. Wird ein Punkt der inneren Schnitte ausgewählt, so kann die gesamte Verbindungsgerade verschoben werden. Wird hingegen ein Punkt des Innen- oder Außenschnitts ausgewahlt, so kann dieser auf der jeweiligen Geraden, die durch β_{B1} bzw. β_{B2} festgelegt ist, verschoben werden (Drehung der Verbindungsgeraden). Die Punkte 0 und 3 können nur horizontal verschoben werden (m=konst.). Bei den Punkten 3 kann dies interaktiv geschehen (Verschieben oder Schrägstellen der Austrittskante), bei den Punkten 0 (Eintrittskante) nur durch Verändern des jeweiligen Startwinkel in der Tabelle **Constraints**.

Durch das Aktivieren von **Central Bezier point** wird je Skelettlinie ein zentraler, frei beweglicher Stützpunkt hinzugefügt, so dass die Darstellung der Skelettlinien dann mit einem Bezierpolynom 4. Grades erfolgt. Dadurch werden die Gestaltungsmöglichkeiten erhöht.

Im Bereich **Blade angles** sind zur Information die Schaufelwinkel β_{B1}, β_{B2} (siehe Schaufel-Eigenschaften 287) und die Winkel in der x,y-Ebene (Frontalansicht) $\beta_{B1,xy}$, $\beta_{B2,xy}$ angegeben.

Im Bereich **Blade information** sind die Überlappung benachbarter Schaufeln φ_B und der Incidence-Winkel i (siehe Schaufel-Eigenschaften 287) angegeben.

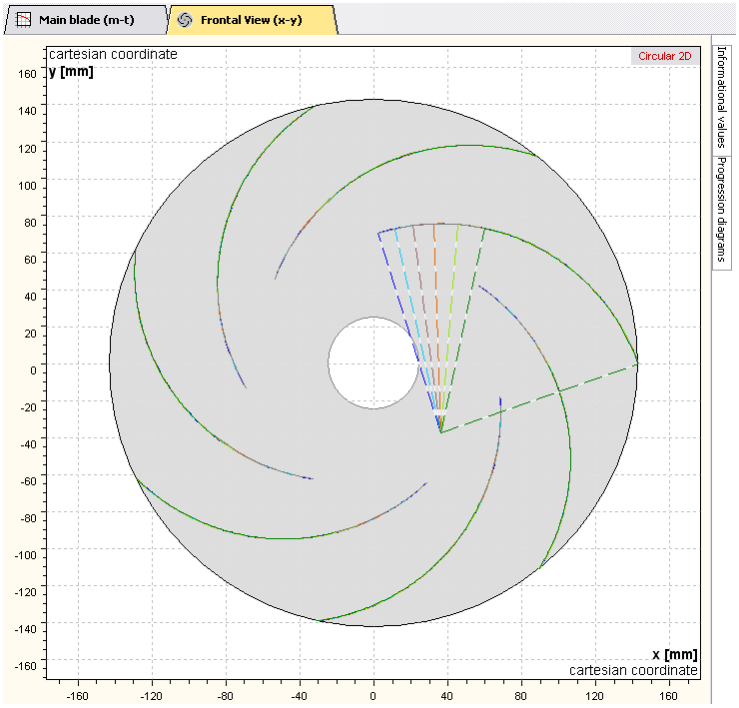
Mögliche Warnungen

Problem	Lösungsmöglichkeiten
Coupling partially deactivated. Blade surface could be deformed.	
Die Skelettlinien sind momentan nicht linear gekoppelt. Dies kann zu deformierten Schaufelflächen führen.	Lineare Kopplung (**Coupled mean lines**) aktivieren.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Problem	Lösungsmöglichkeiten
Entweder wurde die lineare Kopplung deaktiviert oder sie ist nicht möglich wegen stark voneinander abweichender Schaufelwinkel.	β_{B2} Schaufelwinkel (siehe Schaufel-Eigenschaften 287)gleichmäßig verteilen.

8.3.2.2 Kreisbogenschaufeln, Gerade Schaufeln

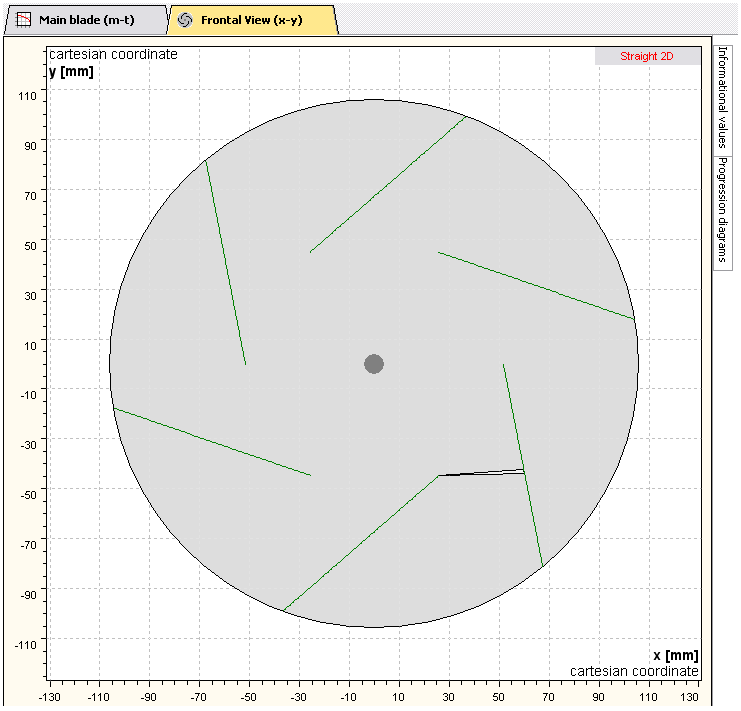


Bei diesen einfachen 2D-Schaufelformen wird der Verlauf der Skelettlinien vollständig durch Schaufelform und -winkel bestimmt, so dass keine Möglichkeit der Beeinflussung besteht.

Die Schaufeln werden am sinnvollsten in der **Frontal view** dargestellt.

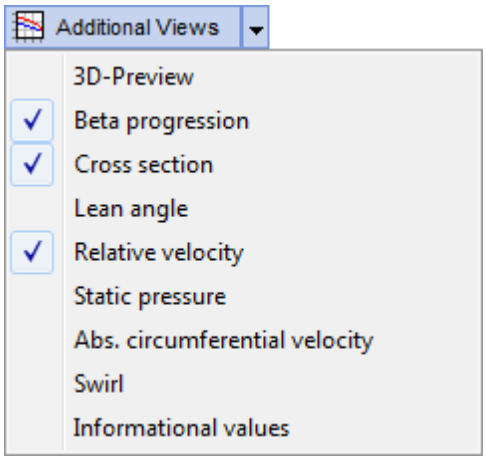
Bei den Kreisbogenschaufeln werden in der Frontalansicht der Kreismittelpunkt und der Schaufelradius dargestellt. Außerdem sind in der Tabelle **Circular Blade** im Bereich **Informational values** die entsprechenden Zahlenwerte zu finden (siehe Additional views 320).

© CFturbo Software & Engineering GmbH



8.3.2.3 Additional views

Die folgenden Informationen können im Dialog dargestellt werden, indem das Menü "Additional views" benutzt wird:



Die Sichtbarkeit der Haupt- und Zwischenschaufelkurven kann durch die Checkboxen, die per in der linken unteren Ecke zugänglich sind, beeinflusst werden. Das ist im Fall des Vorliegens von Zwischenschaufeln möglich. Wenn es separate Kurven für die Saug- und Druckseite gibt, kann deren Sichtbarkeit ebenfalls beeinflusst werden.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

3D-Preview

3D-Modell der derzeit entworfenen Skelettfläche.

Beta progression

β_B-Verlauf entlang der Skelettlinien.

Zu starke lokale Extremwerte sollten nach Möglichkeit vermieden werden.

Blade passage area

Verlauf der Querschnittsfläche innerhalb eines Schaufelkanals, begrenzt durch 2 benachbarte Skelettflächen sowie Trag- und Deckscheibe.

Lean angle

Verteilung des Neigungswinkels λ der Schaufeln.

Unter dem lean angle neigt sich die Quasiorthogonale der Schaufel weg von der z-Richtung. Die Quasiorthogonale ist die Gerade, die entsteht, wenn zwei korrespondierende Punkte auf Trag- und Deckscheiben-Skelettlinie verbunden werden. Diese Geraden werden bei der Festlegung der Schaufeleigenschaften bestimmt und werden im Meridianschnitt 299 dargestellt, wenn zwei Skelettlinien gewählt wurden. Anderenfalls werden die Quasiorthogonalen nicht angezeigt aber intern durch Verbindung der korrespondierenden Punkte auf Trag- und Deckscheiben-Skelettlinie bestimmt.

➜ Siehe Neigungswinkel 324

Relative velocity

➜ Siehe Berechnung der Schaufelumströmung 327

Static pressure

➜ Siehe Berechnung der Schaufelumströmung 327

Abs. circumferential velocity

© CFturbo Software & Engineering GmbH

➜ Siehe Berechnung der Schaufelumströmung 327

Swirl

➜ Siehe Berechnung der Schaufelumströmung 327

Blade loading

➜ Siehe Berechnung der Schaufelumströmung 327

Informational values

Die Tabellen enthalten zusätzliche informative Werte:

Radial diffuser **[nur für Statoren vom Typ "Radial diffuser"]**

Zahlreiche Werte zur Beurteilung der Qualität von Radialdiffusoren.

➜ siehe Skelettlinien 387-Entwurf für Statoren vom Typ "Radial diffuser"

Throat area

Kleinste Querschnittsfläche zwischen benachbarten Skelettflächen.

Dieser Wert hängt von der Schaufelzahl, dem Umschlingungswinkel und der Schaufelform ab.

Circular blade

Radius, Sektorwinkel, Mittelpunkt, Vorderkanten-Punkt, Hinterkanten-Punkt des Kreisbogens.

Lean angle

Neigungswinkel an der Vorderkante (λ_1) und Hinterkante (λ_2).

➜ siehe Neigungswinkel 324

Blade loading **[nur für Pumpen]**

Abschätzung der Schaufelbelastung mit Hilfe des Auftriebsbeiwertes (Gülich):

Blade angle

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Tabelle mit den Schaufelwinkeln β_B, die im Schaufel-Eigenschaften 287 Dialog berechnet wurden oder sich aus den Zwangsbedingungen einfacher Schaufelformen ergeben.

Blade angle in x-y

Tabelle mit Schaufelwinkeln in der Frontalansicht $\beta_{B,xy}$.

Im Falle von reinen Radialradern sind diese Werte identisch mit den Schaufelwinkeln β_B.

Blade angle with sine rule **[nur für Turbinen]**

Berechnete Schaufelwinkel unter Benutzung der Sinus-Regel.

Für jede Skelettlinie werden die berechneten Winkel zusammen mit ihren Abweichungen zu den tatsächlichen Schaufelwinkeln dargestellt.

➔ siehe Sinus-Regel 323

Blade length and solidity

Tabelle mit:

- Länge der Skelettlinien in 3D

- Solidity der Skelettlinien (Sehnenlänge dividiert durch $(\pi \cdot d_2/z)$)

Other information

Tabelle mit

- resultierender Uberlappungswinkel φ_B von 2 benachbarten Skelettflächen

- Winkel der Fehlanströmung i auf Trag- und Deckscheibe

8.3.2.3.1 Sinus-Regel

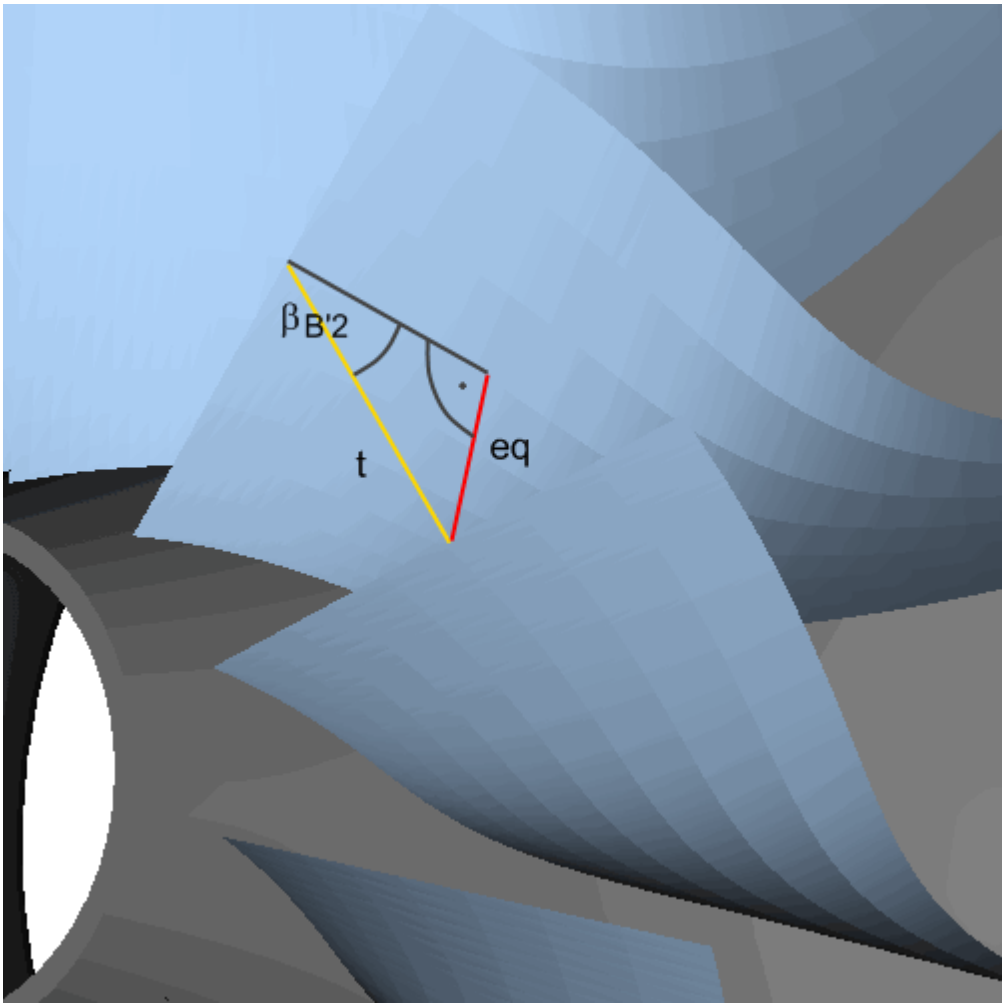
[nur für Turbinen]

Mit der Sinusregel (sine rule) lassen sich die Austrittswinkel des Entwurfs überprüfen. Demnach sollen die Schaufelwinkel im Austritt möglichst genau dem Winkel entsprechen, der durch ein rechtwinkliges Dreieck gebildet wird, in dem die Hypotenuse die Gitterteilung t ist und die Gegenkathete der kleinste Abstand eq zwischen zwei benachbarten Skelettlinien der Flutfläche im Austritt ist. Wenn dies der Fall ist, so ist eine tangentiale Abströmung an der Schaufelhinterkante gewährleistet.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

$$\sin\beta_{B'2} = \frac{eq}{t}$$

Exemplarisch wird dies im folgenden Bild für eine Skelettlinie gezeigt.

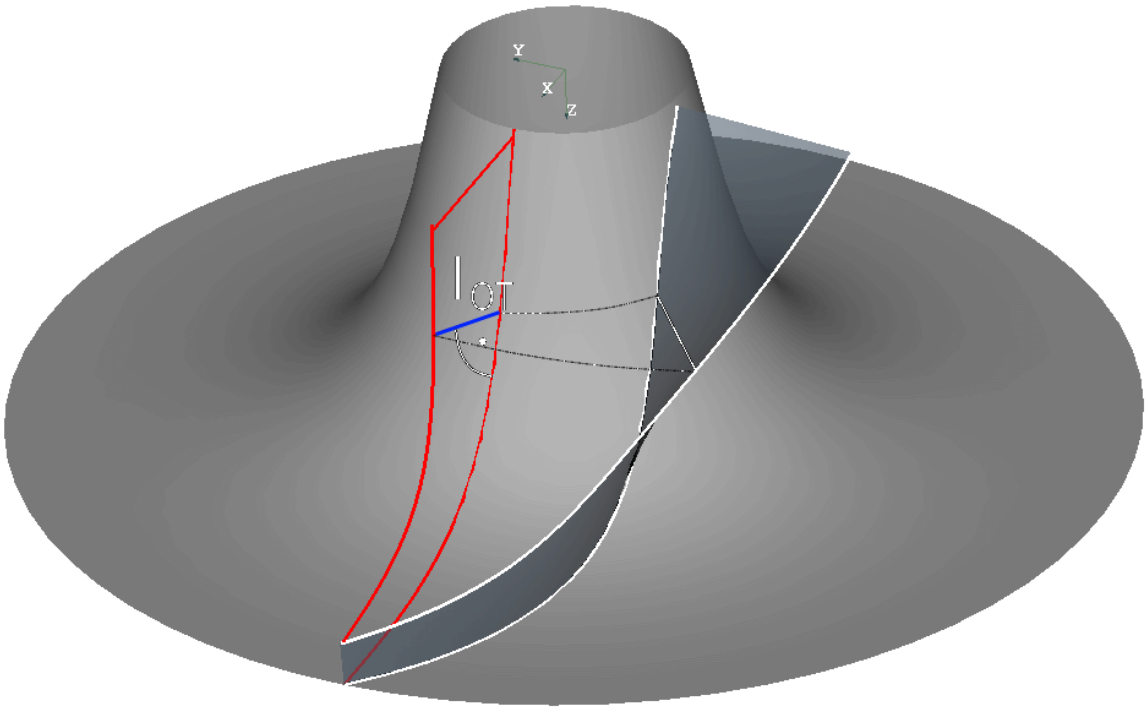


8.3.2.3.2 Neigungswinkel

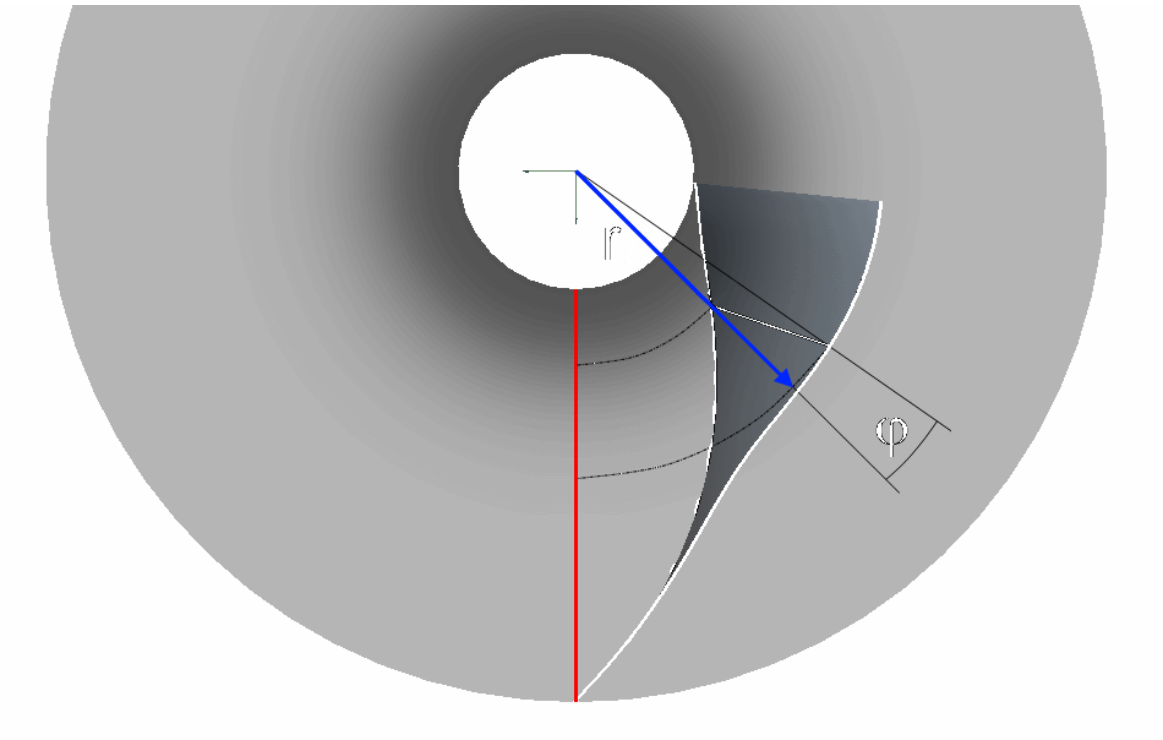
Der Schaufel-Neigungswinkel λ kann nicht direkt eingegeben werden. Er ergibt sich aus Meridiankontur, axialer Erstreckung, Umschlingungswinkel und den Skelettlinien und wird auf der Basis der Länge der Quasi-Orthogonalen l_{OT} und eines Radius r ,multipliziert mit dem Winkel φ, berechnet. Der Radius ist der des Schnittpunktes der Quasi-Orthogonale mit dem äußeren Schnitt. Im dargestellten Fall ist dies die Deckscheibe.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

$$\lambda = \arctan\left(\frac{r \cdot \varphi}{l_{OT}}\right)$$



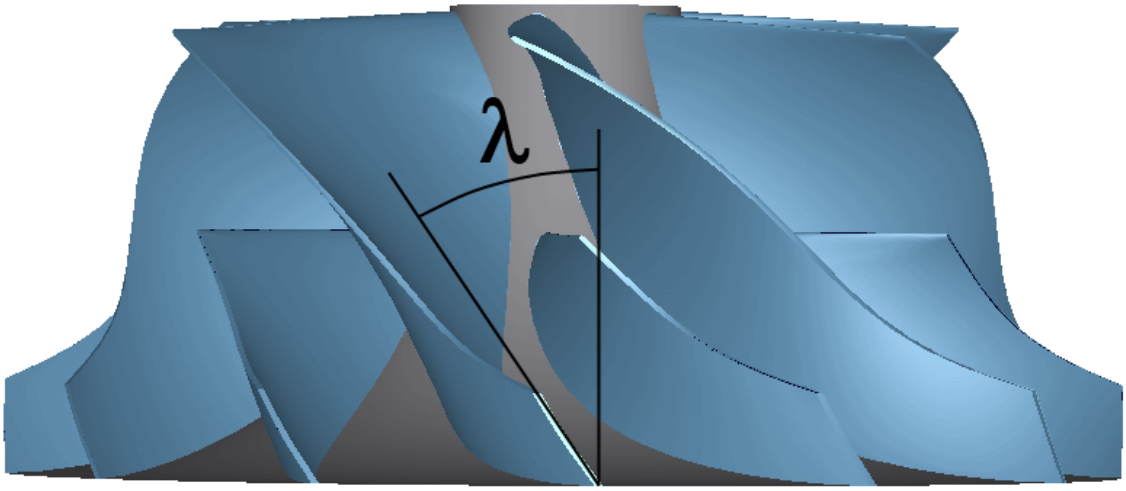
© CFturbo Software & Engineering GmbH



Beispielhaft werden an einem Kompressor einige Maßnahmen zur Beeinflussung des Schaufel-Neigungswinkels gezeigt:

- $\lambda_1\uparrow$: Schaufelwinkel 299 $\beta_{B1}\downarrow$
- $\lambda_1\uparrow\downarrow$: zweiten Bezier-Punkt 316 an der Eintrittskante verschieben
- $\lambda_1\uparrow$: Umschlingungswinkel 316 $\uparrow$
- $\lambda_1\uparrow$ und Vergrößerung der Wölbung der Eintrittskante: Verkleinerung der axialen Erstreckung der Meridiankontur 262

© CFturbo Software & Engineering GmbH



8.3.2.4 Berechnung der Schaufelumströmung

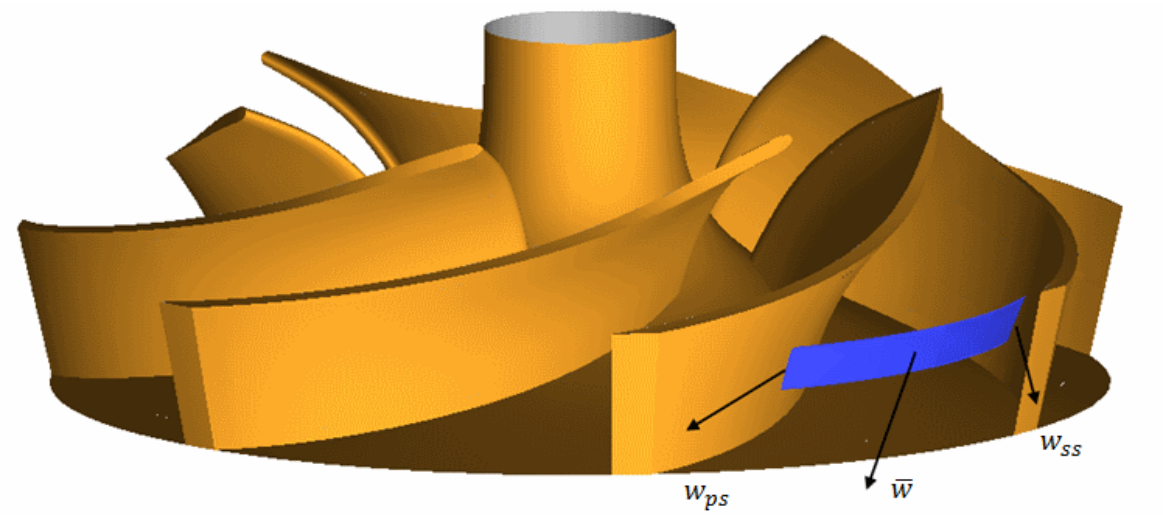
Relativgeschwindigkeitsberechnung nach Stanitz & Prian 441

Stromlinien müssen aus einer cm-Berechnung (siehe Meridional flow calculation 284) bekannt sein. Um die z-Achse rotierte Stromlinien bilden Flutflächen. Die Relativgeschwindigkeiten werden in einem Schaufelkanal berechnet, der durch zwei Flutflächen begrenzt ist. Einzelne Relativgeschwindigkeiten werden bei r = konstant bestimmt. Zunächst wird an einem solchen Ort eine mittlere Geschwindigkeitskomponente mithilfe der Kontinuitätsgleichung berechnet:

$$\overline{w} = \frac{\dot{m}}{\overline{\rho} \cdot A}$$

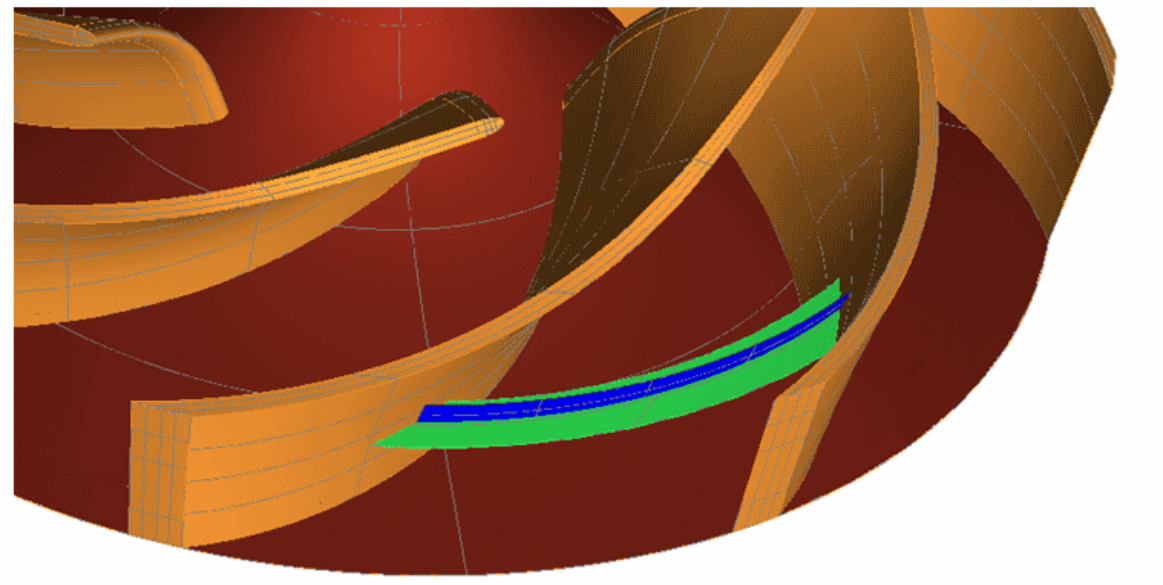
Der Teilmassestrom ergibt sich aus dem Gesamtmassestrom, der Anzahl der Schaufeln und der Anzahl der Stromlinien. Im Bereich zwischen zwei benachbarten Flutflächen fließt immer der gleiche Massestrom.

© CFturbo Software & Engineering GmbH



Der Querschnitt wird berechnet mit dem Stromlinienabstand Δh, dem Radius r, dem tangentialen Abstand von Druck- und Saugseite zweier benachbarter Schaufeln Δt und einem mittleren Relativströmungswinkel:

$$A = r \cdot \Delta t \cdot \Delta h \cdot \sin\left(\overline{\beta}\right)$$



Aus der Annahme, dass die Zirkulation der Absolutströmung in einem Ausschnitt der Flutfläche (grüne Fläche im Bild) Null ist, lässt sich die Relativgeschwindigkeit auf der Saugseite berechnen mit:

© CFturbo Software & Engineering GmbH

$$w_{ss} = \frac{\sin(\beta_{ps}) \cdot \sin(\beta_{ss})}{\sin(\beta_{ps}) + \sin(\beta_{ss})} \left(\frac{2\overline{w}}{\sin(\beta_{ps})} + u \cdot (\cot(\beta_{ps}) - \cot(\beta_{ss})) + \frac{\partial(c_u \cdot r \cdot \Delta t)}{\partial m} \right),$$

dabei sind u die lokale Umfangsgeschwindigkeit und c_u die Umfangskomponente der Absolutgeschwindigkeit sowie β_{ss} und β_{ps} die Schaufelwinkel auf Saug- und Druckseite. Aufgrund dessen, dass die mittlere Relativgeschwindigkeit ein Mittelwert aus w_{ss} und w_{ps} ist, kann die Relativgeschwindigkeit auf der Druckseite berechnet werden mit:

$$w_{ps} = 2 \cdot \overline{w} - w_{ss} \cdot$$

Anmerkung

Die Kontinuitätsgleichung muss für die Relativgeschwindigkeit iterativ gelöst werden, da die Dichte bei kompressiblen Medien nur mithilfe der Relativgeschwindigkeit bestimmt werden kann. Die Dichte wird aus der Isentropenbeziehung bestimmt:

$$\overline{\rho} = \rho_{t1} \cdot \left(1 - \frac{\kappa - 1}{\kappa} \frac{1}{R \cdot T_{t1}} \left(\frac{\overline{w}^2}{2} - \frac{u^2}{2} \right) \right)^{\frac{1}{\kappa - 1}} \cdot$$

Der mittlere Relativströmungswinkel wird als Mittelwert der Schaufelwinkel an Saug- und Druckseite angenommen. Allerdings wird ab einem bestimmten Radius davon ausgegangen, dass aufgrund der Minderumlenkung die Strömung nicht mehr der Schaufel folgen kann. An Orten mit einem Radius größer als der Stanitz-Radius wird der mittlere Relativströmungswinkel um die Minderumlenkung korrigiert.

Das Verfahren basiert auf der Voraussetzung, dass die Strömung als reibungsfrei angesehen werden kann und keine Verdichtungsstöße und kein Wärmetransport über die Ränder auftreten. Es gibt kann geometrische Konstellationen geben, für die die Querschnitte (blaue Fläche in den Bildern weiter oben) zu klein sind für den im Global Setup 67 definierten Massenstrom. Wenn das der Fall ist, gibt es keine Lösung für die Gleichung für die mittlere Dichte und Geschwindigkeit. Es werden keine Ergebnisse für die Schnitte, für die es keine Lösung gibt, angezeigt.

Schaufelbelastung

Der statische Druck auf Saug- und Druckseite kann aus den Geschwindigkeiten bestimmt werden. Dazu wird die Beziehung zwischen der Enthalpiedifferenz zwischen Saug- und Druckseite und der meridionalen Ableitung des Dralls genutzt:

Die Schaufelbelastung kann mit Hilfe der Druckdifferenz zwischen Saug- und Druckseite dividiert durch den Ruhedruck am Eintritt ausgedrückt werden:

© CFturbo Software & Engineering GmbH

$$\frac{p_{ps}-p_{ss}}{p_{in,total}}=\frac{\rho_{av}}{p_{in,total}}\left(\frac{2\pi}{n}\cdot c_m\frac{\partial\left(r\cdot\overline{c}_u\right)}{\partial m}-c_v\left(T_{ps}-T_{ss}\right)\right)\cdot$$

Für inkompressible Fluide entfällt der zweite Term in der Klammer.

Eine andere Formulierung der Schaufelbelastung benutzt die Geschwindigkeitsdifferenz zwischen Saug- und Druckseite dividiert durch den Mittelwert aus w_{ss} und w_{ps}:

$$\frac{w_{ss}-w_{ps}}{\overline{w}}.$$

Weitere Größen

Neben den erwähnten Variablen wird auch die Umfangskomponente der mittleren Absolutgeschwindigkeit sowie der mittlere Drall B angezeigt. Diese Größen sind definiert mit:

$$\overline{c}_u=u-\overline{w}\cdot\cos\left(\overline{\beta}\right),$$

$$B=r\cdot\overline{c}_u.$$

Mit den Relativgeschwindigkeiten werden auch die Ackeret-Kriterien dargestellt. Entsprechend diesen Kriterien (die unten definiert sind) sollte die maximale Relativgeschwindigkeit des betrachteten Schnitts nicht größer als $1.8\cdot w_2$ und die minimale Relativgeschwindigkeit nicht kleiner als $0.3\cdot w_1$ sein.

$$\text{Ackeret}=w_2/w_1,$$

$$\text{Ackeret}_{max}=1.8=w_{max}/w_2,$$

$$\text{Ackeret}_{min}=0.3=w_{min}/w_1.$$

8.3.3 Schaufelprofile

? Impeller | Blade profiles

Für die Profilierung der Schaufeln (Haupt- und Zwischenschaufeln) werden die orthogonalen Schaufeldicken für den Innen- (**Hub**) und Außenschnitt (**Shroud**) jeweils an der Vorderkante, an der Hinterkante und jeweils an den Stützpunkten entlang der Schaufel in Strömungsrichtung vorgegeben. Beim Erstentwurf werden typische Werte in Abhängigkeit vom Laufraddurchmesser d_2 vorgeschlagen (siehe Approximationsfunktionen 135).

© CFturbo Software & Engineering GmbH

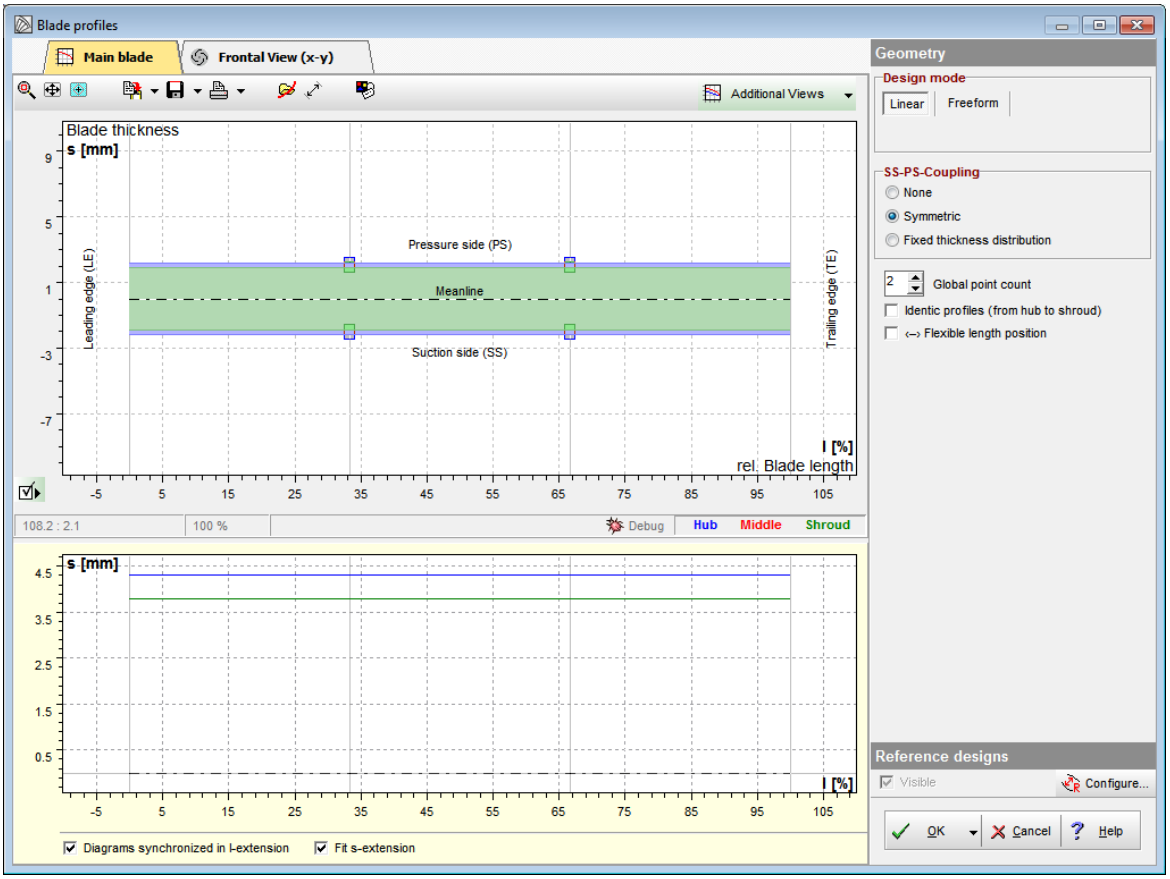
2 Laufradtypen weisen spezielle Dickenverteilungen auf:

- **Abwasser-Pumpen** haben eine großer Schaufeldicke an der Vorderkante, um die Ablagerung von Feststoffen zu vermeiden. Ab 20% der Schaufellänge ist die Dicke konstant bis zur Hinterkante.

- **Inducer-Pumpen** haben eine sehr kleine Schaufeldicke an der Vorderkante, um die Saugfähigkeit zu verbessern. Die sehr kleine Schaufeldicke an der Vorderkante wächst bis etwa 40%...80% der Teilung ($t=\pi d/n_{Bl}$), um dann die konstante Schaufeldicke zu erreichen.

  Die Dickenverteilung ist dabei asymmetrisch und angeschärft nur auf der Saugseite der Schaufel.

Die Darstellung des Dickenverlaufes erfolgt über der relativen Schaufellänge (0 = Vorderkante, 1 = Hinterkante).



Die orthogonalen Schaufeldicken werden beidseitig an die 3D-Skelettlinien angetragen, so dass Schaufeldruck- und -saugseite entstehen.

Im Bereich **Geometry** werden folgende Einstellungen zum Entwurf des Schaufelprofils angegeben:

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Design Mode

Linear
Lineare Interpolation zwischen den Stützpunkten.

Freeform
Zur Darstellung wird ein Bezierpolynom verwendet, welches von der Vorder- zur Hinterkante verläuft.
LE / TE rounded
Die Vorder-/Hinterkanten können optional abgerundet werden. Wenn eine Polylinie geladen wurde, wird der Wert automatisch gesetzt und kann nicht verändert werden.

Linked to Main
Nur für Zwischenschaufeln möglich: Das Schaufelprofil der Zwischenschaufel wird an das Profil der Hauptschaufel gekoppelt.

Global point count

Ermöglicht das einheitliche Setzen der Anzahl der Stützpunkte für den Innen- und Außenschnitt an Schaufeldruck- und -saugseite

Identic profiles

Es wird ein Dickenverlauf entworfen, welcher für alle Profile identisch ist.

Flexible length position

Ermöglicht die horizontale Bewegung aller Stützpunkte.

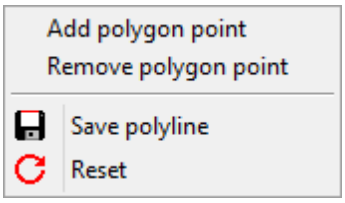
SS-PS-Coupling

None
Alle Punkte können ohne Kopplung zueinander bewegt werden.

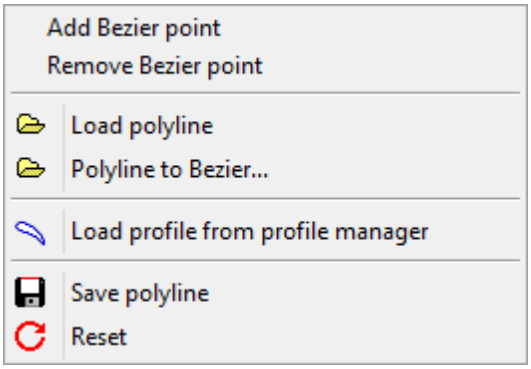
Symmetric
Die Profile von Druck- und Saugseite sind aneinander gekoppelt, so dass eine symmetrische Dickenverteilung entsteht.

Fixed thickness distribution
Ermöglicht eine Verlagerung der entworfenen Profildicke, ohne die Dickenverteilung selbst zu verändern.

© CFturbo Software & Engineering GmbH



Jede Profildicken-Kurve hat ein Popup-Menü, um Polygon-/ Bezier-Punkte hinzuzufügen oder zu entfernen, um Kurven zu speichern oder zu laden und um die Verteilung auf den Standard zurückzusetzen.



Im Freeform-Modus ist sowohl eine Konvertierung der importierten Kurve in eine Bezier-Kurve (**Polyline to Bezier** 335) möglich als auch die Nutzung von Dickenverteilungen vordefinierter Profile aus dem Profil-Manager 143.

Info

Im Info-Bereich werden Informationen zum Entwurf des Schaufelprofils angegeben:

Throat area

Kleinste Querschnittsfläche zwischen 2 benachbarten Skelettflächen.

Actual thickness

Die aktuellen orthogonalen Schaufeldicken für den Innen- (**Hub**) und Außenschnitt (**Shroud**) jeweils an der Vorderkante, an der Hinterkante, nach 1/3 und nach 2/3 der Schaufel in Strömungsrichtung.
Färben sich Zellen rot, so ist die Dicke an der Vorderkante bzw. an der Hinterkante abweichend von der **Target thickness**.

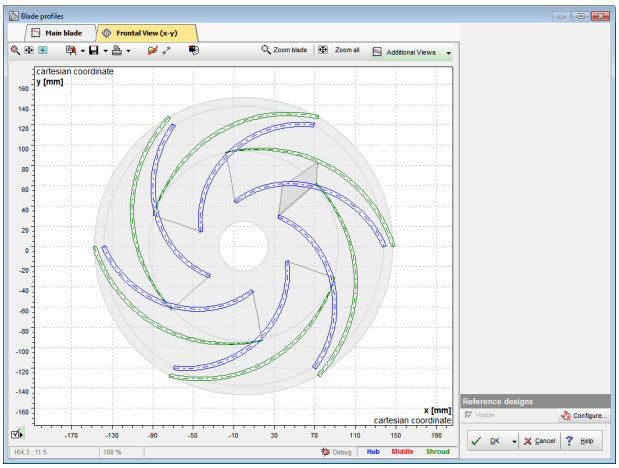
Target thickness

Die orthogonalen Schaufeldicken für den Innen- (**Hub**) und Außenschnitt (**Shroud**) jeweils an der Vorderkante und an der Hinterkante, wie sie im Blade properties 287-Dialog festgelegt wurden.
Es muss beachtet werden, dass die Schaufeldicken an der Vorder- und Hinterkante nur im Blade properties 287-Dialog verändert werden sollten. In diesem Fall sollte wegen der Versperrungswirkung der Schaufeln die Berechnung der Schaufelwinkel aktualisiert werden.

Display options

Die Display options beeinflussen nur die grafische Darstellung. Unter anderem kann hier die Sichtbarkeit bestimmter Linien und Flächen ermöglicht werden.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

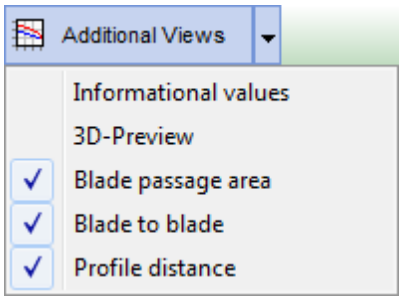


Auf der Registerseite **Frontal view** (Umschaltung oberhalb des Diagramms) sind die entworfenen Schaufelprofile im Achsnormalschnitt einschließlich der Durchmesser d_N und d_2 darzustellen.

Außerdem ist der engste Querschnitt zwischen 2 benachbarten Profilen visualisiert.

8.3.3.1 Additional views

Die folgenden Informationen können im Dialog dargestellt werden, indem das Menü "Additional views" benutzt wird:



Informational values

Einige Zahlenwerte werden zu Information angezeigt:

- Aktuelle Dicke an Naben- und Gehäuseschnitt
- Zieldicke an Vorder- und Hinterkante von Nabe und Gehäuse

3D-Preview

3D model 163 der derzeit entworfenen Schaufeln.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Die 3D-Ansicht enthält die bis hierher entworfenen Schaufeln.

Blade passage area

Querschnitt des Strömungskanals (annähernd senkrecht durchflossene Fläche zwischen Trag- und Deckscheibe sowie zwischen zwei benachbarten Schaufeln).

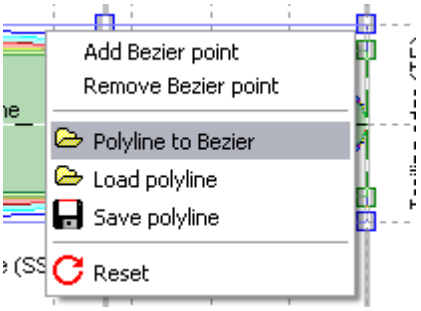
Blade to blade

Darstellung zweier benachbarter Schaufeln in m-t-Koordinaten. In den display options können die Schaufelschnitte, die angezeigt werden sollen, ausgewählt werden.

Profile distance

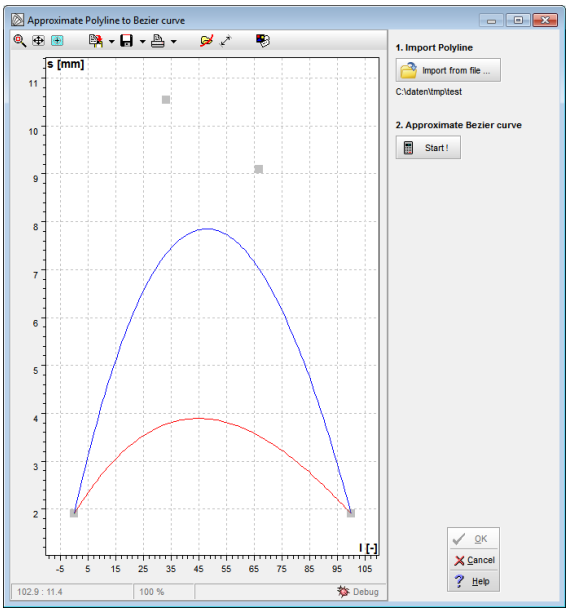
Abstand zweier benachbarter Schaufeln in m-t-Koordinaten. Für Axialmaschinen mit einem koaxialen Meridian gibt diese Darstellung einen guten Eindruck von der tatsächlichen Abstandsverteilung.

8.3.3.2 Konvertierung Polylinie - Bezier



Jede importierte Dickenverteilung kann in eine Bezierkurve konvertiert werden. Dadurch werden spätere Modifizierungen des importierten Verlaufs ermöglicht.

© CFturbo Software & Engineering GmbH



Zuerst wird die gewünschte Polylinie über **Import from file** eingelesen.

Die importierte Kurve wird rot dargestellt, die vorher vorhandene Kurve blau.

Durch Betätigen des Schalters **Start!** wird die Lage der Bezierpunkte so berechnet, dass die importierte Polylinie grob nachgebildet wird.

Vorhandene bzw. per Kontextmenü hinzugefügte Bezierpunkte können manuell so verändert werden, dass die Bezierkurve der importierten Polyline möglichst nahe kommt.

8.3.4 Schaufelkanten

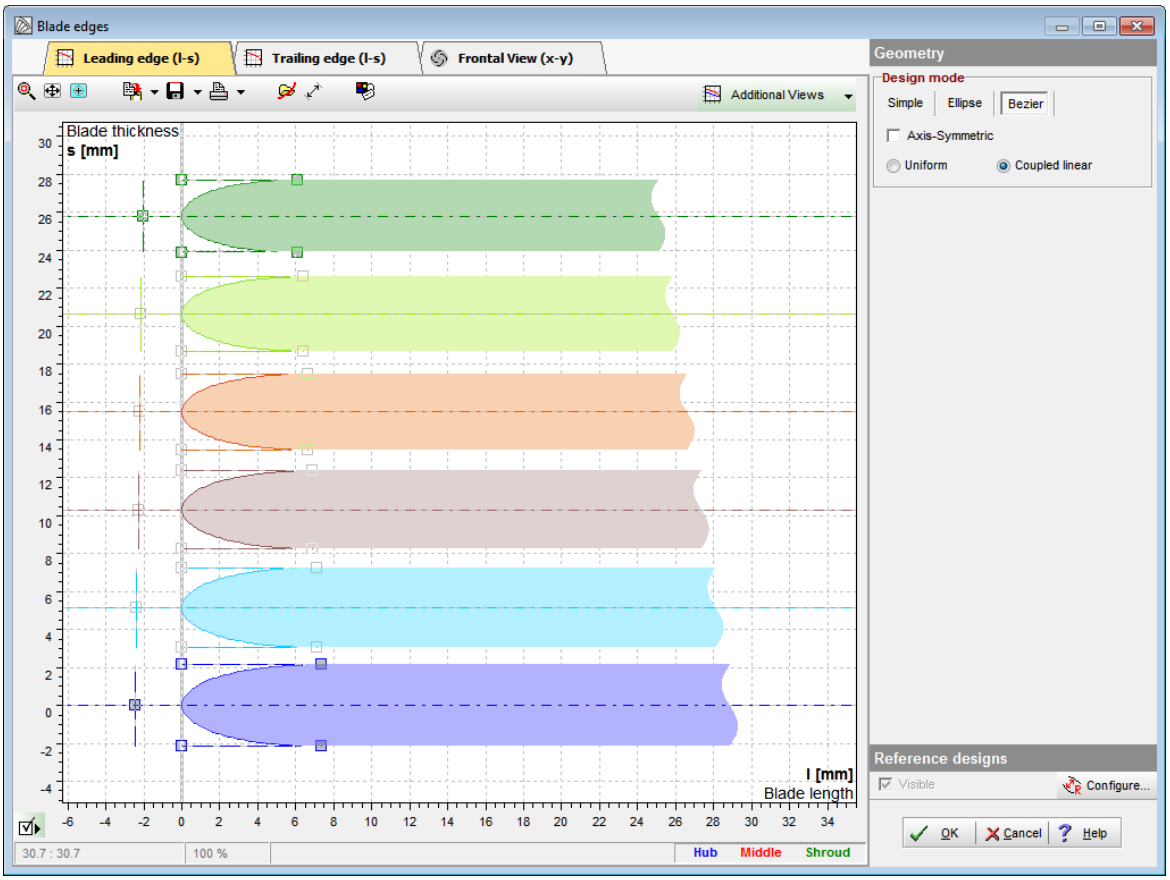
? Impeller | Blade edges

Die bisher entworfene Schaufel besitzt eine stumpfe Vorder- und Hinterkante (Verbindungslinie der Endpunkte von Druck- und Saugseite).

Die Kanten werden durch ihre Dickenverteilung entworfen. Die Darstellung der Schaufeldicken s erfolgt über 15% der abgewickelten Schaufellänge l an der Vorderkante (**Leading edge**) und der Hinterkante (**Trailing edge**).

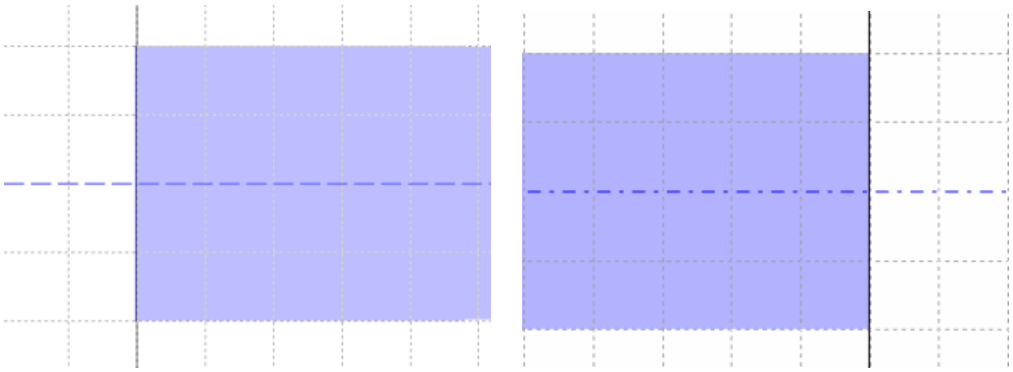
Wurde beim Profil-Entwurf 330 bereits ein kompletter Dickenverlauf inklusive Vorder- oder Hinterkante entworfen, so muss an dieser Stelle nur die Kanten Position 342 (Übergang von Schaufelkante zu Druck-/Saugseite der Schaufel) definiert werden.

© CFturbo Software & Engineering GmbH



Im Bereich **Geometry** kann zwischen 3 Möglichkeiten der Ausbildung der entsprechenden Kante gewählt werden:

(1) Simple



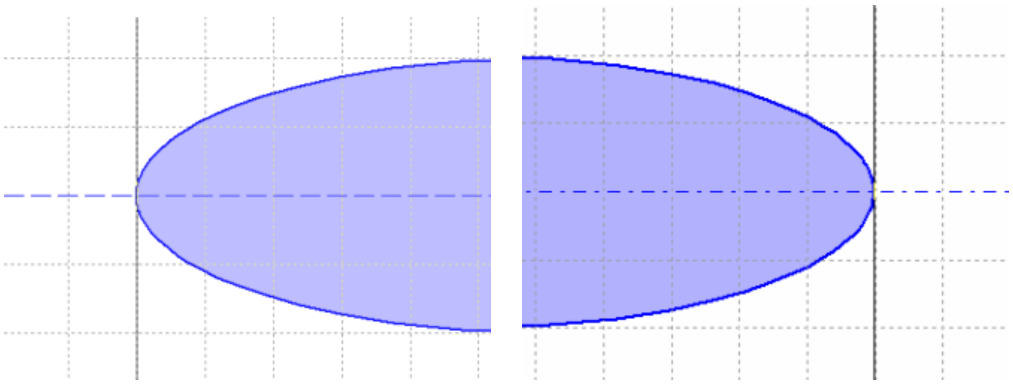
Die Kante schließt stumpf ab.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Es wird eine Gerade vom Endpunkt der Saugseite zur Druckseite ermittelt, die senkrecht auf der Skelettlinie steht.

Trim on inlet/outlet bewirkt das Verschneiden der Schaufel mit der Ein- bzw. Austrittsfläche. Das Verschneiden ist nur an der Hinterkante, bzw. an der Vorderkante von Turbinen möglich.

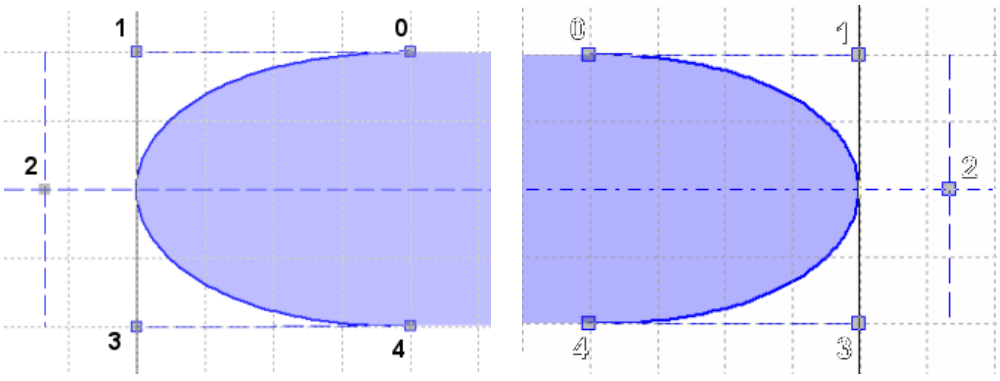
(2) Ellipse



Die Kante wird elliptisch abgerundet.

Das Verhältnis der Halbachsen (**Semi-axis ratio**) kann angegebenen werden. Eine Halbachse verläuft in Richtung der Skelettlinie, die zweite senkrecht dazu.

(3) Bezier



Zur Darstellung wird ein Bezierpolynom 4. Grades verwendet.

Die Punkte 0 und 4 stellen den Übergang zwischen den Schaufelseiten und der abgerundeten Kante dar und können demnach auf der entsprechenden Schaufelseite verschoben werden.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Die Bezierpunkte 1 und 3 sind nur auf Geraden verschiebbar, die dem Anstieg der Kurve in den Punkten 0 bzw. 4 entsprechen, um einen stetigen Übergang von der Kontur zur Vorderkante zu gewährleisten.

Der Bezierpunkt 2 ist frei beweglich und hat somit den größten Einfluss auf die Gestaltung der jeweiligen Kante. Seine horizontale Position wird automatisch so berechnet, dass die Kante an der Position l=0 beginnt oder mit l=Schaufellänge endet. Die Modellierung der Kante erfolgt in den vorderen bzw. hinteren 10% der abgewickelten Schaufellänge.

Axis-Symmetric bewirkt eine symmetrische Geometrie, d.h. die Punkte 0/4 und 1/3 liegen jeweils übereinander und Punkt 2 liegt auf der Mittellinie.

Für die Festlegung der Kantenform bestehen 2 prinzipielle Möglichkeiten:

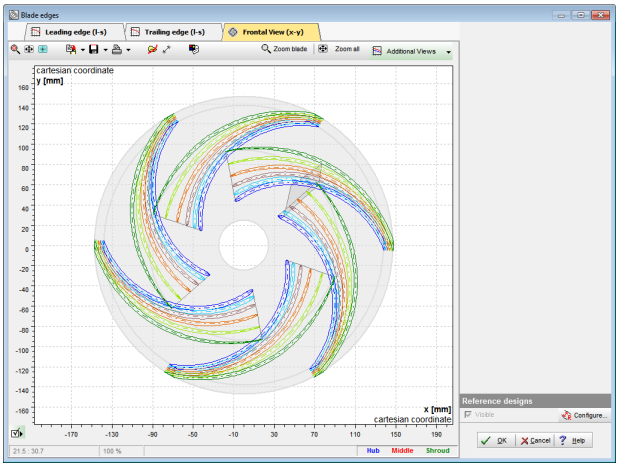
- **Coupled linear**:
  die Kanten auf Trag- und Deckscheibe werden festgelegt; dazwischen wird linear interpoliert
- **Uniform**:
  die Bezierpunkte aller Kanten haben die gleiche relative Lage

Info

Im Info-Bereich werden numerische und allgemeine Informationen zum Entwurf angegeben.

Display options

Die Display options beeinflussen nur die grafische Darstellung. Unter anderem kann hier die Sichtbarkeit bestimmter Linien und Flächen ermöglicht werden.

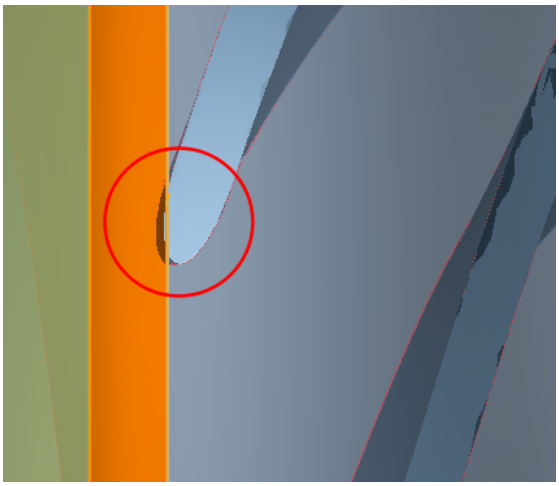


Auf der Registerseite **Frontal view** (Umschaltung oberhalb des Diagramms) sind die entworfenen Schaufeln im Achsnormalschnitt einschließlich der Durchmesser d_N und d_2 darzustellen.

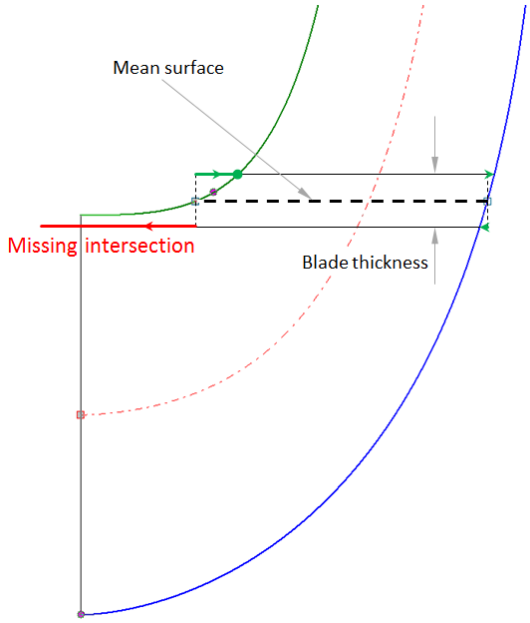
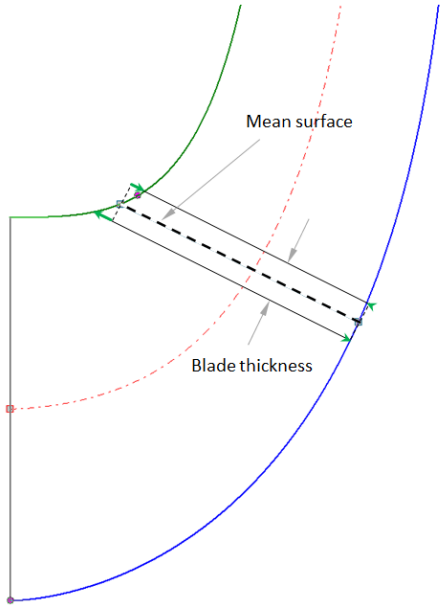
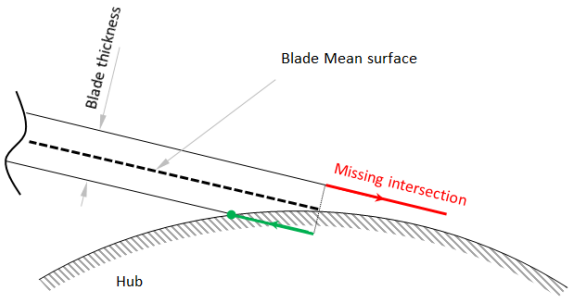
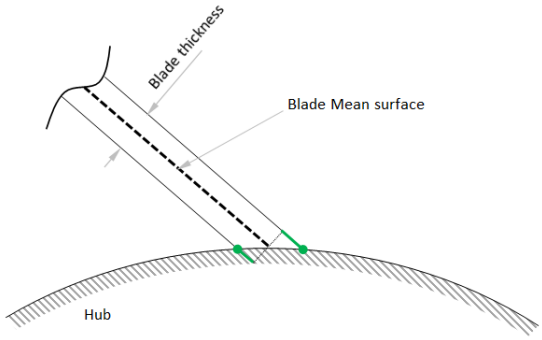
Außerdem ist der engste Querschnitt zwischen 2 benachbarten Schaufeln visualisiert.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Mögliche Warnungen

Problem	Lösungsmöglichkeiten
The blade exceeds the meridional boundaries caused by the blade thickness. Check the meridional leading/trailing edge position. The model finishing option 'solid trimming' will not be available.	
Die Warnung weist darauf hin, dass sich einige Teile der Schaufel außerhalb der meridionalen Erstreckung der Komponente befinden.  Durch das orthogonale Antragen der Dicke kann es zum Austritt der Schaufel aus dem meridionalen Strömungsbereich kommen. Dadurch wird das "Solid trimming" bei der Modell-Fertigstellung 370 fehlschlagen.	Abhängig von der Lage des Austrittpunktes muss die Modellierung der Kanten angepasst werden, um dies zu verhindern. Wenn die Eintrittskante (Austrittskante bei Turbinen) aus dem Strömungsbereich herausragt, muss diese im Meridiandialog 262 manuell korrigiert werden. Bei der Austrittskante (Eintrittskante von Turbinen) kann das Durchstoßen durch Verschneiden der Kante (**trim on in/outlet**) verhindert werden.
Error while extrapolating Blade to reach Hub/ Shroud surface. Check meridional geometry, blade angles and thickness. **Trim may be poor/failed, due to meridional contour at suction port and LE.**	
Beim Entwurf der Schaufel werden die orthogonalen Schaufeldicken an die 3D-Skelettlinien angetragen. Im Anschluß werden die Schaufelseiten an Trag- und Deckscheibe verschnitten, d.h. eine Seite wird getrimmt, die andere extrapoliert.	Meridiankontur 262: Bei der Positionierung der Eintrittskante die Schaufeldicke berücksichtigen bzw. Eintrittskante steiler zur Deckscheibe stellen. Ungünstige Wahl von Schaufelwinkel und

© CFturbo Software & Engineering GmbH

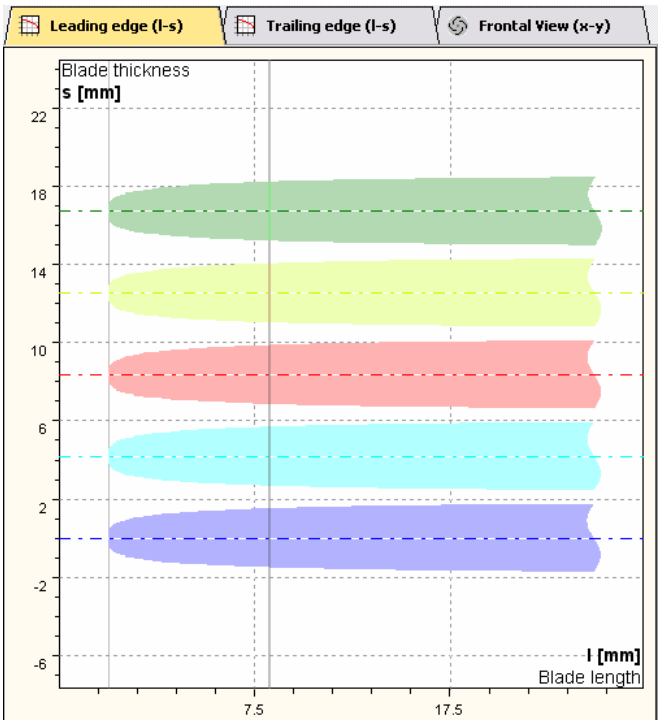
Problem	Lösungsmöglichkeiten
Für die unten dargestellten Konstellationen von Meridian- und Schaufelgeometrie schlägt die Extrapolation fehl.	Schaufeldicke kann zu Verschneidungsproblemen mit der Deckscheibe führen. Eine Lösung des Problems besteht in der Verschiebung der Eintrittskante und/ oder der Änderung ihres Winkels zur Deckscheibe. Profil 330: Verringerung der Schaufeldicke Skelettlinien 312: Den Verlauf prüfen und möglichst den Leanangle im gesamten Profil gering halten
	
	

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Problem	Lösungsmöglichkeiten
Pressure/ Suction side at Hub/ Shroud: max. thickness is too high to get smooth surface.	
Die Kombination von hoher Schaufeldicke und hoher Skelettlinien-Krümmung führt zu degenerierten Schaufelprofilen und verhindert die Erzeugung glatter Schaufelflächen.	Entweder die Schaufeldicke auf der angegebenen Profilseite oder die Skelettlinien-Krümmung auf der angegebenen Span-Position muss reduziert werden.

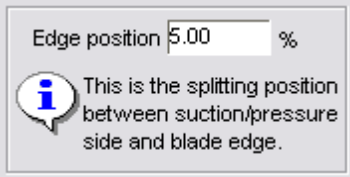
8.3.4.1 Kanten-Position

Wurde beim Profil-Entwurf 330 bereits ein kompletter Dickenverlauf inklusive Vorder- oder Hinterkante entworfen, so muss an dieser Stelle nur die Kanten Position 342 (Übergang von Schaufelkante zu Druck-/Saugseite der Schaufel) definiert werden.



Im Bereich **Geometry** kann die Position des Übergang von der entsprechenden Kante zur Druck/ Saugseite gesetzt werden.

© CFturbo Software & Engineering GmbH



Die Position wird in % angegeben und bezieht sich dabei auf die Gesamtlänge der Schaufel.

Dabei sollte die Vorderkante immer im Bereich von 0% bis 15% liegen, die Hinterkante zwischen 85% und 100% .

8.4 Airfoil/Hydrofoil-Entwurf

Innerhalb dieses Entwurfsmodus erfolgt der Schaufelentwurf in 3 Schritten:

(1) Blade properties 343

(2) Blade profiles 356

(3) Blade sweeping 357

8.4.1 Schaufeleigenschaften

? Impeller | Blade properties

Die Festlegung der Schaufeleigenschaften erfolgt in 3 Schritten:

(1) Cu-spezifikation 346

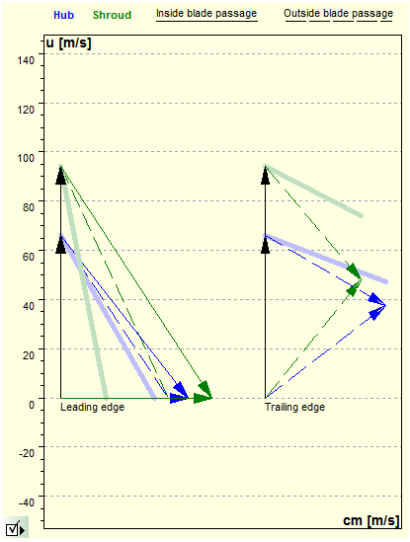
(2) Auswahl des Schaufelprofils 349

(3) Kinematik 351

Festlegung der Schaufelzahl und der Zahl der Entwurfsschnitte

Information

Im rechten Bereich des Dialoges werden Informationen dargestellt, die sich aus den berechneten bzw. festgelegten Werten ergeben.



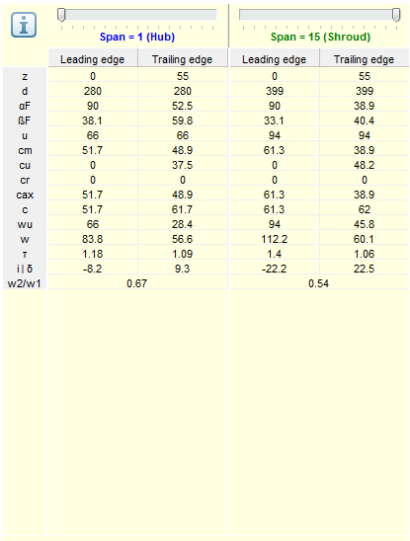
(1) Velocity triangles

Die Geschwindigkeitsdreiecke für Ein- und Austritt werden veranschaulicht.

Die durchgezogenen Linien entsprechen jeweils den Strömungsgeschwindigkeiten an der Trag- (blau) und an der Deckscheibe (grün).

Durch gestrichelten Linien werden die Geschwindigkeiten unmittelbar vor bzw. nach dem Schaufelbereich dargestellt, um die Verengung des Strömungskanals durch die Schaufeln zu verdeutlichen.

Außerdem werden die Schaufelwinkel durch dicke Linien dargestellt. Dabei wird an der Vorderkante die Fehlanströmung und an der Hinterkante die Minderumlenkung sichtbar.



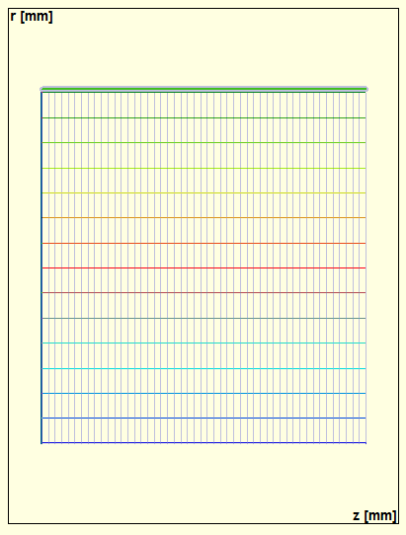
	Span = 1 (Hub)		Span = 15 (Shroud)	
	Leading edge	Trailing edge	Leading edge	Trailing edge
z	0	55	0	55
d	280	280	399	399
αF	90	52.5	90	38.9
ßF	38.1	59.8	33.1	40.4
u	66	66	94	94
cm	51.7	48.9	61.3	38.9
cu	0	37.5	0	48.2
cr	0	0	0	0
cax	51.7	48.9	61.3	38.9
c	51.7	61.7	61.3	62
wu	66	28.4	94	45.8
w	83.8	56.6	112.2	60.1
τ	1.18	1.09	1.4	1.06
i | δ	-8.2	9.3	-22.2	22.5
w2/w1	0.67		0.54	

(2) Values

Zahlenwerte für Geschwindigkeitskomponenten und Strömungswinkel werden tabellarisch angezeigt. Dabei handelt es sich um folgende Größen (kurzer Hinweis erscheint am Mauszeiger):

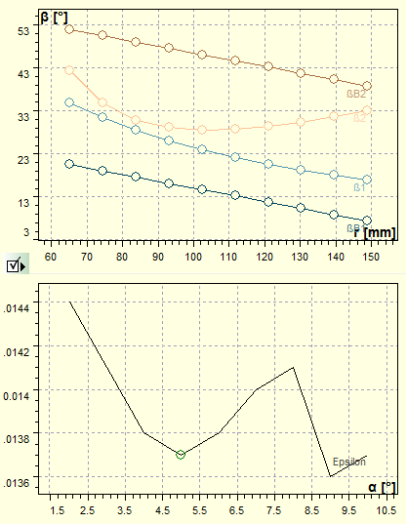
d	Durchmesser
α	Winkel der Absolutströmung gegen die Umfangsrichtun
β	Winkel der Relativströmung gegen die Umfangsrichtung
u	Umfangsgeschwindigkeit
cm	Meridiangeschwindigkeit (c_m=w_m)
cax	Axialkomponente der Absolutgeschwindigkeit
cr	Radialkomponente der Absolutgeschwindigkeit
cu	Umfangskomponente der Absolutgeschwindigkeit
c	Absolutgeschwindigkeit
wu	Umfangskomponente der Relativgeschwindigkeit: w_u+c
w	Relativgeschwindigkeit
t	Schaufelversperrung (siehe weiter unten)
i	Anstellwinkel (incidence): i = β_{B1} - β_1
δ	Deviationswinkel: δ = β_{B2} - β_2
wR	Verzögerungsverhältnis der Relativgeschwindigkeit: w_R=

© CFturbo Software & Engineering GmbH



(3) Meridian

Anzeige des Meridians inkl. Schnitte



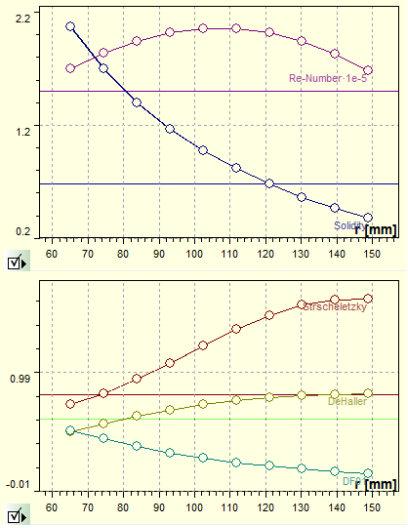
(4) Current ß

Hier werden die Schaufelwinkel und die relativen Strömungswinkel über den einzelnen Schnitten angezeigt. Zusätzlich wird die Profilpolare mit den gewählten Anströmwinkeln in einem zusätzlichen Diagramm angezeigt.

Im Einzelnen sind das:

β1/2	Winkel der Relativströmung gegen die Umfangsrichtu
βB1/2	Schaufelwinkel an Vorder- und Hinterkante

© CFturbo Software & Engineering GmbH



(5) Criteria

Darstellung von aerodynamischen und Airfoil-Parametern:

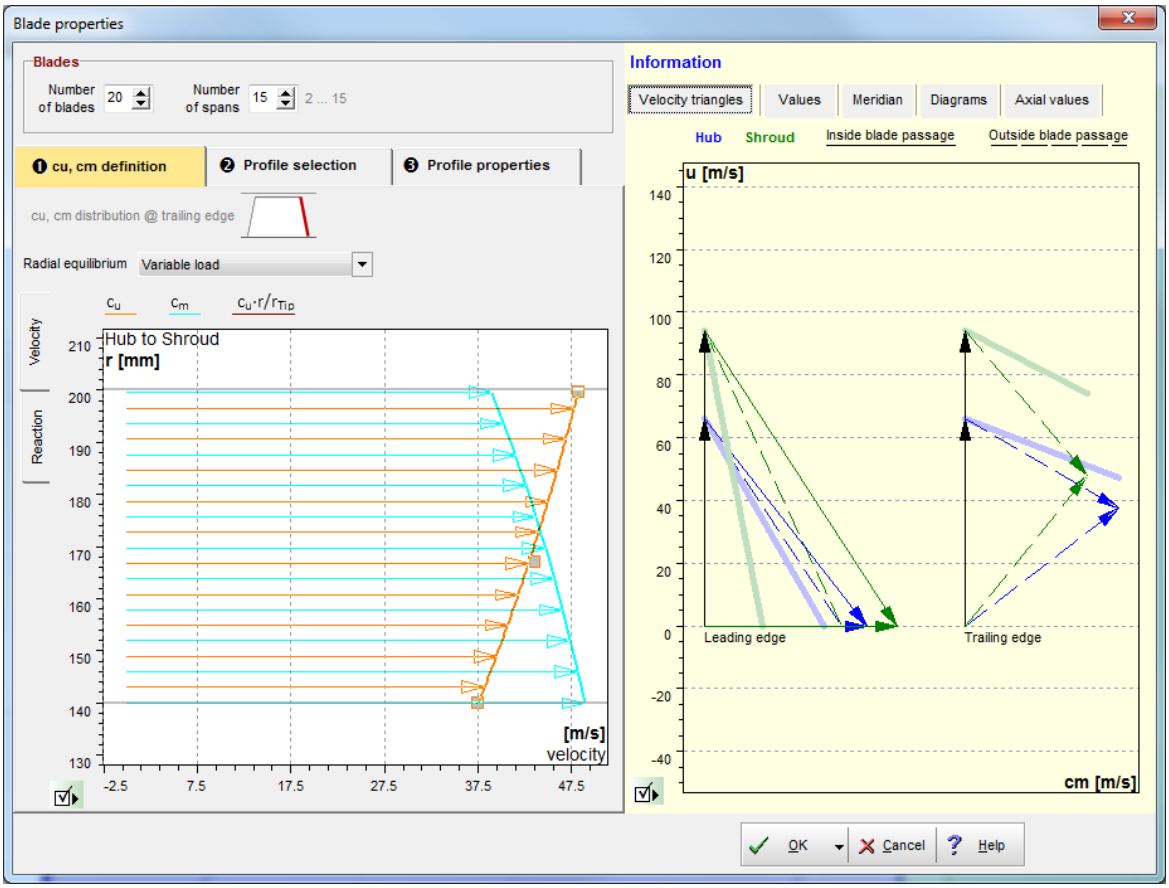
Re	Reynolds-Zahl
l/t	Solidity
DH	DeHaller Kritierium
ST	Strscheletzky Kritierium
DF01	Diffusion-Zahl

8.4.1.1 Cu-Spezifikation

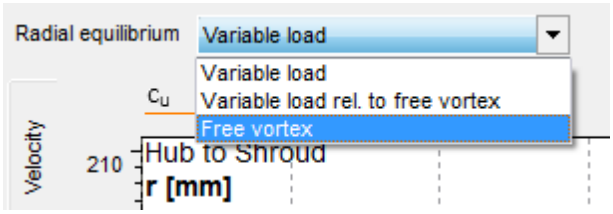
? Impeller | Blade properties

[Nur für Axialmaschinen]

Auf der Registerseite **cu, cm definition** können die Geschwindigkeitsdreiecke auf jedem Schnitt entsprechend dem radialen Kräftegleichgewicht 348 festgelegt werden.



3 verschiedene Modi stehen zur Manipulation von $c_{u2}(r)$ zur Verfügung:



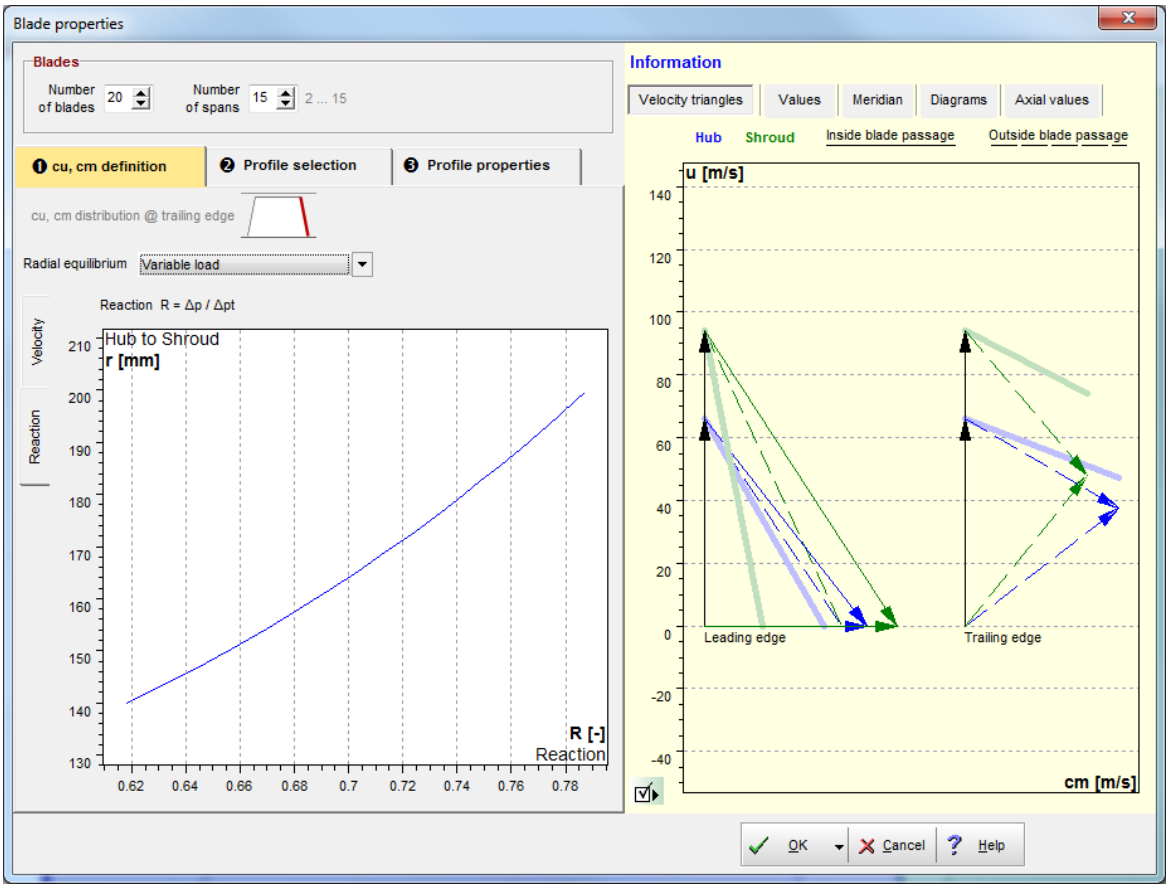
Variable load	**Free vortex**	**Variable load rel. to free vortex**
Die $c_{u2}(r)$-Spezifikation wird durch eine Bezier-Kurve zweiter Ordnung bestimmt.	$c_{u2}(r)$ ist so definiert, dass ein konstanter Drall (isoenergetisch) auf jedem Schnitt entsteht:	Der Wert von slope ist die Ableitung entsprechend:

© CFturbo Software & Engineering GmbH

	$c_{u2}(r) \cdot r = c_{u2iso}(r) \cdot r = const$	$slope = \frac{d\left(c_{u2} / c_{u2iso}\right)}{d\left(r / r_{Tip}\right)}$ Mit einem slope = 0 wird eine isoenergetische Verteilung gesetzt.

Bitte beachten: Es gibt nicht immer eine Lösung der Differentialgleichung des radialen Gleichgewichts. Daher sind manche Bezier-Punkt-Konstellationen nicht möglich.

In einem zweiten Reiter hinter dem c_u-c_m-Diagramm befindet sich ein Diagramm, das die korrespondierenden Reaktionsgrad darstellt: $R = \Delta h_{stat} / \Delta h_{tot}$



8.4.1.1.1 Radiales Gleichgewicht

Basis ist das Gleichgewicht von Druck- und zentrifugalen Kräften unter folgenden Annahmen:

- Die Strömung ist rotationssymmetrisch.

- Reibung wird vernachlässigt.
- Die Stromlinien sind achsparallel und haben keine Neigung.

Die Gleichung für das radiale Kräftegleichgewicht wird hier angegeben für eine Sektion hinter dem Laufrad [Pumpe, Verdichter, Ventilator] bzw. vor dem Rotor [Turbine]:

$$0 = p_2 dA - (p_2 + dp_2) dA + r\varpi^2 \rho \cdot dA \cdot dr$$

$$\Rightarrow \frac{dp_2}{dr} = \rho \frac{c_{u2}^2}{r}$$

Die Definition des Totaldrucks in Sektion 2 differenziert mit r plus die oben angegebene Gleichung ergibt:

$$\frac{dp_{t2}}{dr} = \rho \frac{c_{u2}^2}{r} + \rho \left(c_{m2} \frac{dc_{m2}}{dr} + c_{u2} \frac{c_{u2}^2}{dr} \right)$$

Mit der Schaufelarbeit entsprechend Euler wird diese Gleichung zu:

$$\eta_{Imp} \cdot 2\pi n \frac{d(rc_{u2})}{dr} = \frac{c_{u2}}{r} \frac{d(rc_{u2})}{dr} + c_{m2} \frac{dc_{m2}}{dr}$$

Die folgenden Randbedingungen und eine gegebene $c_{u2}(r)$-Spezifikation führt zu einer Lösung der Differentialgleichung und damit zu einer $c_{m2}(r)$-Verteilung und dem kompletten Geschwindigkeitsdreieck auf jedem Schnitt.

$$\dot{m} = \int_{r_{Hub}}^{r_{Shr}} \rho \cdot c_{m2}(r) \cdot 2\pi r \cdot dr$$

$$P = \int_{r_{Hub}}^{r_{Shr}} u(r) \cdot c_{u2}(r) \cdot \rho \cdot c_{m2}(r) \cdot 2\pi r \cdot dr$$

Mithilfe der Geschwindigkeitskomponenten kann der Reaktionsgrad R mit folgender Gleichung bestimmt werden:

$$R = \frac{\Delta h}{\Delta h_t} = 1 - \frac{\Delta(c^2)}{2\Delta(u_2 \cdot c_{u2})}$$

8.4.1.2 Schaufelprofile

? Impeller | Blade properties

[Nur Axialmaschinen]

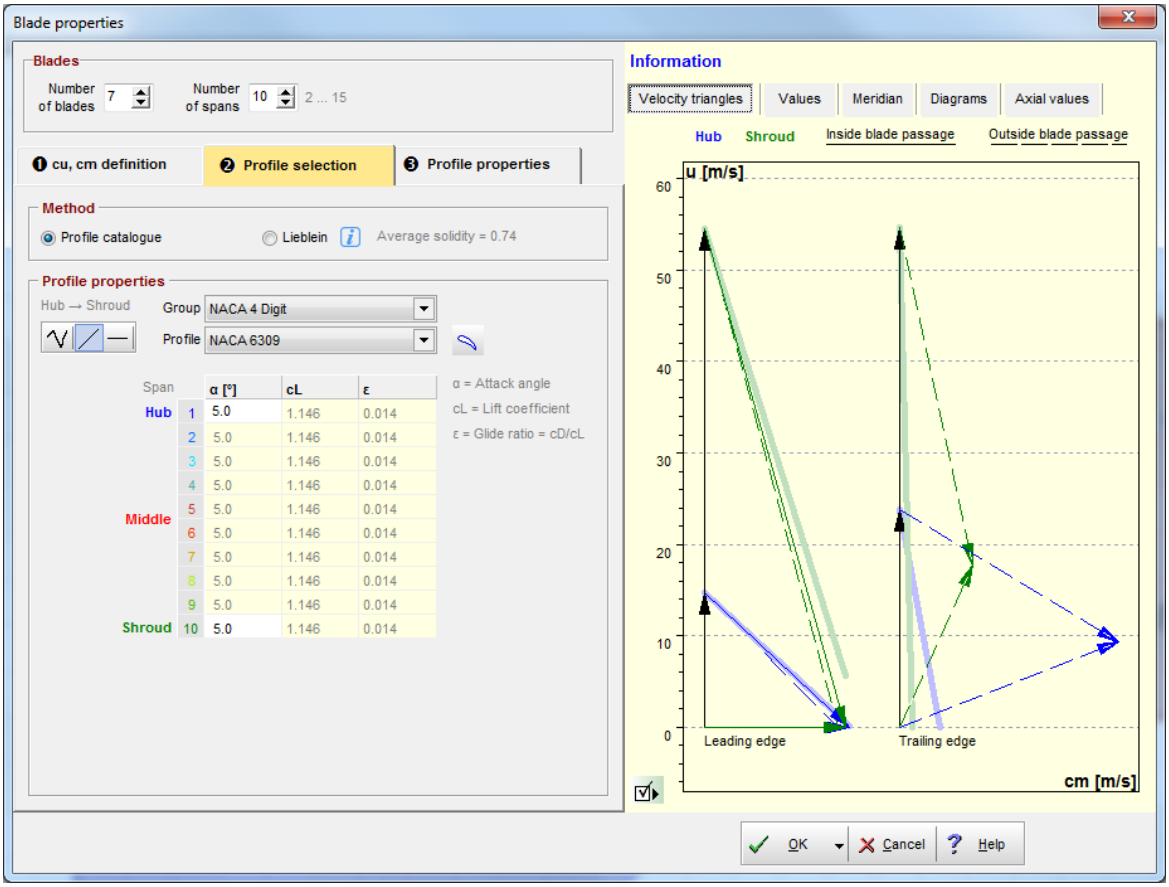
Im Bereich **Profile selection** werden die Profileigenschaften gesetzt. Zu diesem Zweck können die Profile aus dem Profile-Manager 143 gewählt werden.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Zwei Methoden sind verfügbar:

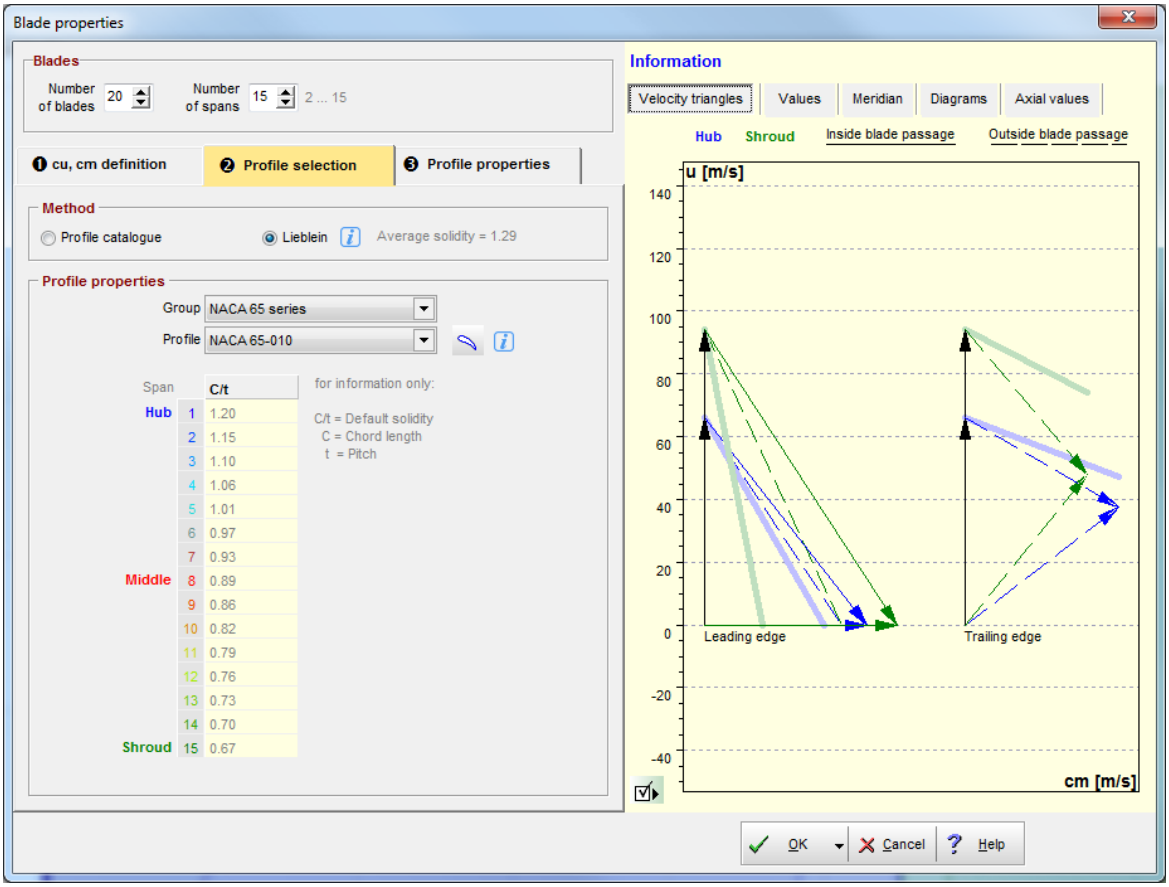
Blade element momentum method 353

Hier stehen vierziffrige NACA-Profile und punktbasierte Profile zur Verfügung. Neben der Profilauswahl muss auch der Anstromwinkel α spezifiziert werden, siehe blade element momentum method 353.



Lieblein-Methode 354

Hier können nur Profile der 65er NACA Reihe gewählt werden. Es muss die Solidity für alle Schnitte angegeben werden. Sie wird benutzt für die Berechnung der Sehnenlänge und des Stagger-Winkels γ, siehe Lieblein-Methode 354.



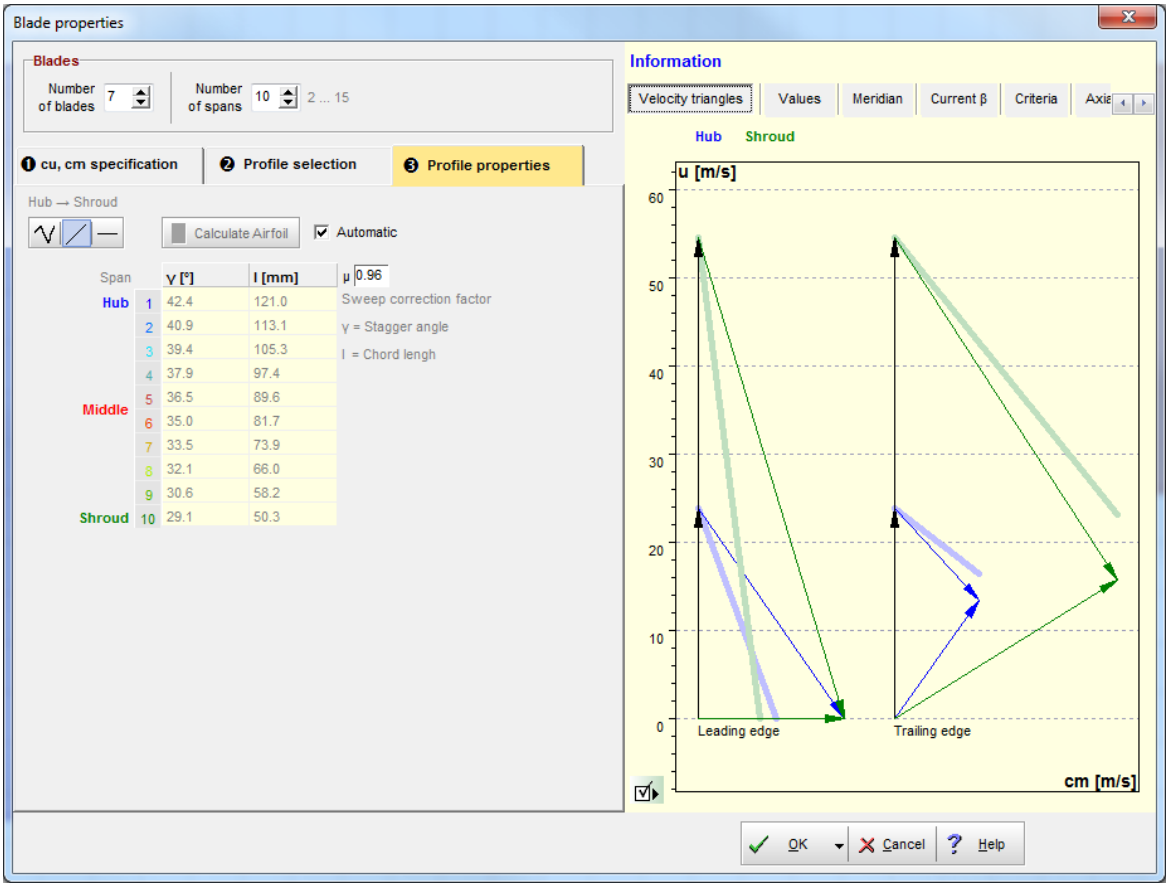
8.4.1.3 Kinematik

Zwei Methoden stehen zur Verfügung für die Bestimmung des skalierten (mit Hilfe der Solidity) und angestellten (mit Hilfe des Staffelungswinkels) Profils:

- **"Blade element monetum"-Methode** 353 **[nur Ventilatoren]**
  für Niederdruck-Anwendungen (hohe spezifische Drehzahl nq)

- **"Lieblein"-Methode** 354 **[Pumpen, Ventilatoren]**
  für Hochdruck-Anwendungen (niedrige spezifische Drehzahl nq)

Auf der Registerseite **Profile properties** erfolgt die Berechnung der Staffelungswinkel und der Soldity.



Limits

Die Entwurfsmethoden sind nur innerhalb bestimmter Bereiche gültig:

Die Relativerzögerung sollte nicht geringer sein als die durch das DeHaller 441 Kriterium gegebene:

$$\left.\frac{W_2}{W_1}\right|_{hub} \geq 0.6..0.75$$

.

In einer drallbehafteten Rohrströmung bildet sich ein Totwasserkern bei kleinen Radien aus, in dem die Strömung wie ein starrer Körper rotiert und zurück strömt. Nach Strscheletzky und Marcinowski soll der Durchmesser dieses Totwasserkerns kleiner sein als der Nabendurchmesser des Laufrads. Daraus leiteten sie das folgende Kriterium für einstufige Maschinen:

,

und für mehrstufige Maschinen ab:

© CFturbo Software & Engineering GmbH

$$\left.\frac{c_{m2}}{c_{u2}}\right|_{hub} \geq 1$$

.

Aus Grenzschichtbetrachtungen wurde die Diffusionszahl angewendet auf Profile mit einer maximalen Dicke von 10% abgeleitet:

$$DF_{0.1} = \left(1 - \frac{w_2}{w_1}\right) + \frac{1}{2} \cdot \frac{t}{l} \cdot \frac{\Delta w}{w_1}$$

.

Spezielle NACA-Messungen ergaben einen anzustrebenden Bereich von $DF_{0.1} \leq 0.6$.

8.4.1.3.1 Blade element momentum method

Die Methode nutzt die Tragflügeleigenschaften eines Einzelprofils im unbegrenzten Raum, d.h., der Tragflügel wird nicht durch Nachbartragflügel beeinflusst. Das wird erreicht, wenn die Solidity s/l hinreichend kleiner als eins ist.

Basis ist die Beziehung zwischen aerodynamischen oder hydrodynamischen Profileigenschaften und Entwurfsparametern, die zusammen mir der Euler-Gleichung benutzt werden.

Die Kraft in Umfangsrichtung F_u abgeleitet aus den Profileigenschaften ist:

$$\begin{aligned} F_u &= \sin(\beta_\infty + \delta) \cdot F \\ &\approx \sin(\beta_\infty + \delta) \cdot c_L \cdot \rho \cdot \frac{w_\infty^2}{2} \cdot l \cdot b \quad \text{with} \quad F \approx F_L \end{aligned}$$

,

während sie aus der Impulsbilanz mit:

$$\begin{aligned} F_u &= \dot{m} \cdot (c_{u2} - c_{u2}) \\ &= \rho \cdot c_m \cdot t \cdot b \cdot \frac{Y_{Imp}}{u} \end{aligned}$$

,

bestimmt werden kann. Damit ergibt sich aus dem Gleichsätzen der Kräfte ein Zusammenhang zwischen den Profileigenschaften Auftriebsbeiwert c_L und Solidity l/t einerseits und dem Entwurfspunkt (Y, n, m) andererseits:

$$\sin(\beta_\infty + \delta) \cdot c_L \cdot \frac{w_\infty^2}{2} \cdot \frac{l}{t} = c_m \cdot \frac{Y_{Imp}}{u}$$

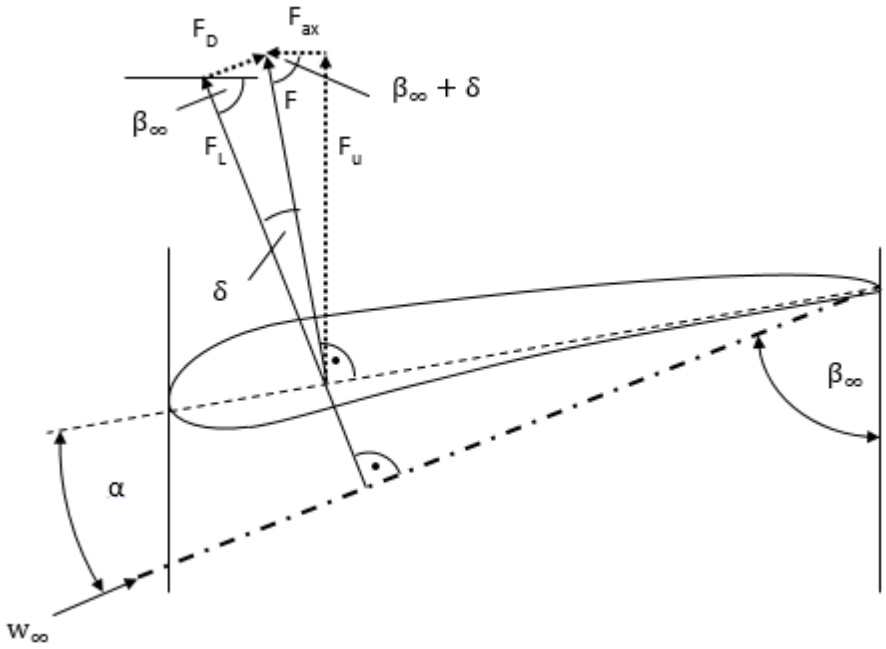
.

Die Bedeutung der einzelnen Größen ist in folgender Tabelle angegeben:

Y_{Imp}	spezifische Arbeit des Laufrades
l/t	Solidity (Sehnenlänge/Teilung)
b	Breite des Profils
c_u	Umfangskomponente der Absolutströmung
c_m	meridionale Komponente der Absolutströmung
β_∞	mittlerer Relativströmungswinkel

© CFturbo Software & Engineering GmbH

w_∞ mittlere Relativgeschwindigkeit
c_L Auftriebsbeiwert
α Anströmwinkel
δ Winkel zwischen resultierender Kraft und Auftriebskraft



8.4.1.3.2 Lieblein-Methode

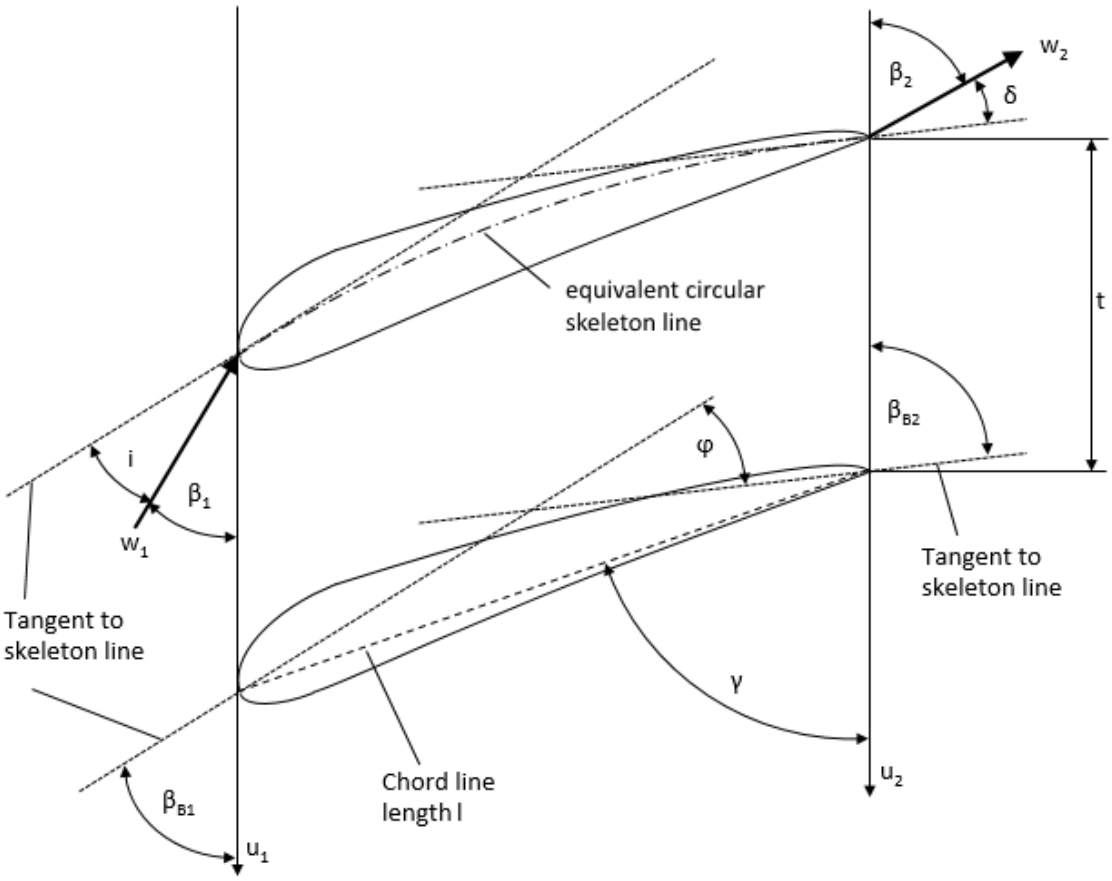
Lieblein [441] führte systematische Windkanaluntersuchungen bezüglich der Umlenkeigenschaften von Profilen der NACA 65 Reihe durch. Die Bedeutung der dabei benutzten Größen ist in der folgender Tabelle angegeben:

γ Staffelungswinkel (stagger angle)
l/t Solidity (Sehnenlänge/Teilung)
β Relativströmungswinkel
β_B Schaufelwinkel
u Umfangsgeschwindigkeit
w Relativgeschwindigkeit
i Inzidenz: $i = \beta_{1B} - \beta_1$
δ Deviationswinkel: $\delta = \beta_{2B} - \beta_2$

Das Verfahren kann nur unter Enhlatung folgender drei Einschränkungen angewendet werden:

- Die maximale relative Dicke muss d/l < 0.1 sein.
- Die Reynolds-Zahl muss $Re_l > 2 \cdot 10^5$ sein.
- Die Solidity l/t muss auf allen Schnitten: 0.4 <= l/t <= 2.0

© CFturbo Software & Engineering GmbH



Lieblein entwickelte Entwurfsdiagramme für die folgenden Parameter:

- Inzidenz i
- Deviation δ

Das prinzipielle Vorgehen ist das folgende: mit der spezifizierten Solidity wird die Sehnenlänge festgelegt. Mit dem relativen Stromungswinkel β_1 (aus der cu-spezifikation 346) und der Solidity l/t wird die Inzidenz unter Nutzung der Entwurfsdiagramme von Lieblein bestimmt. Das Gleiche wird getan bezüglich der Deviation. Damit sind die Schaufelwinkel an Vorder- und Hinterkante bekannt. Beachte: Die Schaufelwinkel sind die bezüglich der äquivalenten Kreisbogenskelettlinie mit dem Radius:

.

Mit den Schaufelwinkeln kann der Staffelungswinkel bestimmt werden:

.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

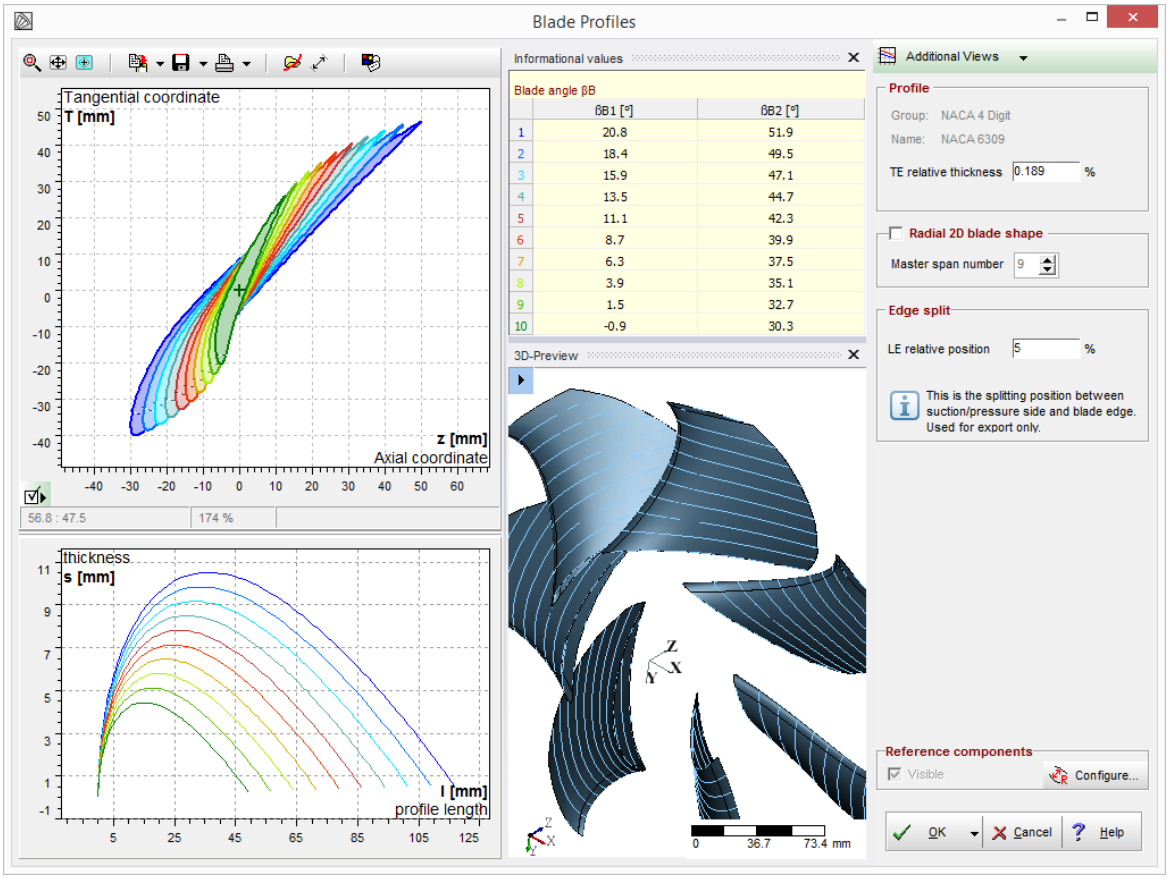
8.4.2 Schaufelprofile

? Impeller | Blade profiles

Zur Ermittlung der 3D-Profile werden die in den Blade properties 343 festgelegten bzw. berechneten Werte benutzt:

- Profilform basierend auf der Profilauswahl 349
- Sehnenlänge/ Chord length (Skalierung) und Staffelungswinkel/ Stagger angle (Rotation) jedes Profils auf der jeweiligen Span-Position basierend auf den Profileigenschaften 351

Die resultierenden 2D-Profile werden links oben dargestellt, wobei die Dickenverteilung für jede Span-Position im Diagramm darunter zu sehen ist.



Folgende Informationen können zusätzlich durch die Nutzung des Schalters "Additional views" dargestellt werden:

- **Informational values**: resultierende Schaufelwinkel an der Vorder- (β_{B1}) und Hinterkante (β_{B2})
- **3D-Preview**: resultierende 3D-Schaufelform, nachdem die 2D-Schaufelprofile in ihre jeweilige

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Span-Fläche projiziert wurden

Profile

Der zuvor ausgewählte Schaufelprofil-Name wird informativ dargestellt. Für NACA-Profile kann die Dicke der Hinterkante aus Fertigungsgründen angepasst werden. Die zusätzliche Dicke wird durch lineare Erweiterung des Profils realisiert.

Radial 2D blade shape

2D-Schaufeln in radiale Richtung können entworfen werden durch die Nutzung eines konstanten Staffelungswinkels (stagger angle) entsprechend eines frei wählbaren Master-Schnittes.

Bitte beachten: Wenn diese Option genutzt wird, werden die aerodynamischen Eigenschaften der entstehenden Schaufel andere sein, als die in den Blade properties 343 festgelegten.

Edge split

Diese Position definiert den Übergang von der Schaufeldruck-/ -saugseite zur Vorderkante. Dies wird bei der Generierung des 3D-Modells sowie beim Datenexport genutzt.

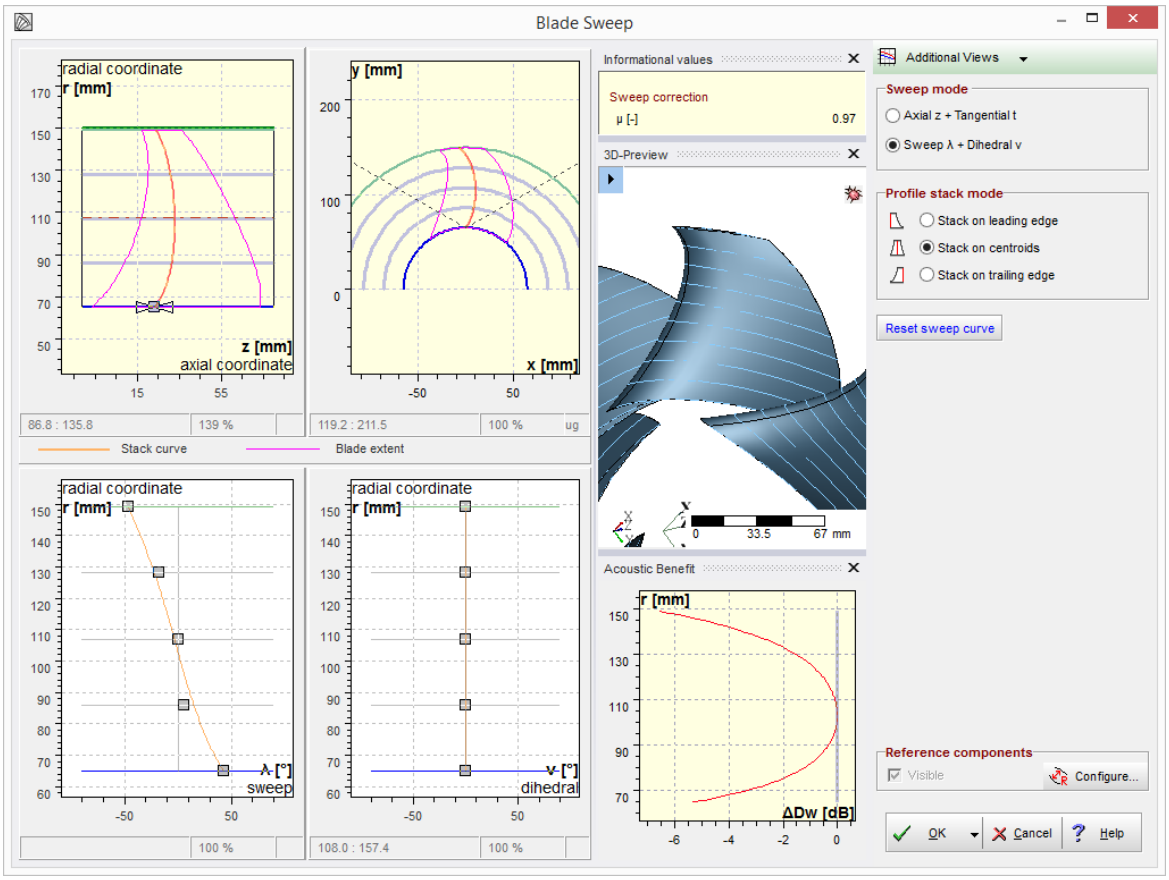
8.4.3 Sichelung

? Impeller | Blade sweep

In diesem Entwurfsschritt kann optional die Sichelung der Schaufeln definiert werden. Die Sichelung wird normalerweise aus akustischen Gründen vorgenommen und ist mit einer geringfügigen Reduzierung des Wirkungsgrades verbunden.

Standardmäßig sind die Schaufeln ungesichelt, indem die Schwerpunkte aller Profile exakt in radialer Richtung angeordnet werden. Im linken Teil des Dialoges werden 4 Diagramme dargestellt, die die derzeitige Sichelung der Schaufeln repräsentieren. Nur 2 dieser Diagramme sind aktiv und ihre Kurven können verändert werden, während die anderen beiden Diagramme nur zur Information dargestellt werden (siehe unten **Sweep mode**).

© CFturbo Software & Engineering GmbH



Folgende Informationen können zusätzlich durch die Nutzung des Schalters "Additional views" dargestellt werden:

- **Informational values**: Sichelungs-Korrekturfaktor (sweep correction factor) μ, der den Wirkungsgradverlust durch die Sichelung repräsentiert (siehe Kinematik 351)
- **3D-Preview**: gesichelte 3D-Schaufelform
- **Acoustic benefit**: Minderung der akustischen Schallleistung im Vergleich zur ungesichelten Schaufel

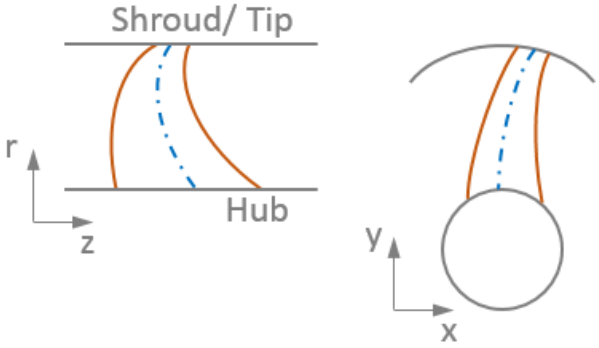
$$L_W|_{\lambda \neq 0} - L_W|_{\lambda = 0} = 10 \cdot \lg\left(\cos(\lambda)^4\right) \text{dB}$$

Sweep mode

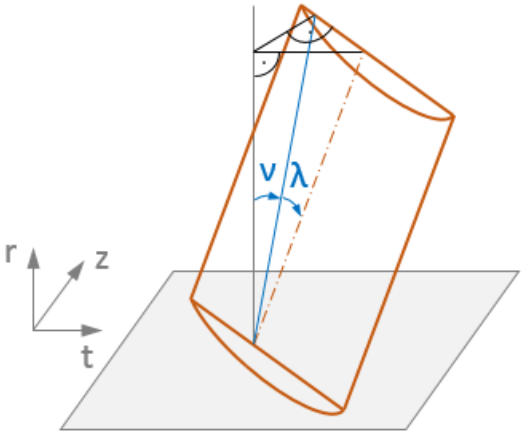
Der Sichelungs-Modus gibt an, wie die Schwerpunkte der Schaufelprofile in die Auffädelungslinie verschoben werden.

Für die Definition der Schaufelsichelung stehen 2 alternative Optionen zur Verfügung:

- **Axial z + Tangential t**
  Sichelung in der meridionalen und in der achsnormalen Ansicht



- **Sweep λ + Dihedral ν**
  λ: Pfeilung, Anstromrichtung nicht senkrecht zur Schaufelachse, Schaufelflache trotzdem in Strömungsrichtung
  ν: V-Stellung, Schaufelebene nicht senkrecht auf der Nabe



Profile stack mode

Die Sichelung kann für jeden Sichelungs-Modus an einer der folgenden Schaufel-Positionen erfolgen:

- Vorderkante (leading edge)
- Schwerpunkt (centroids)
- Hinterkante (trailing edge)

8.5 CFD Setup

? Impeller | CFD Setup

Die bisher entworfene Geometrie kann durch **virtuelle** Elemente für Simulationsrechnungen erweitert werden.

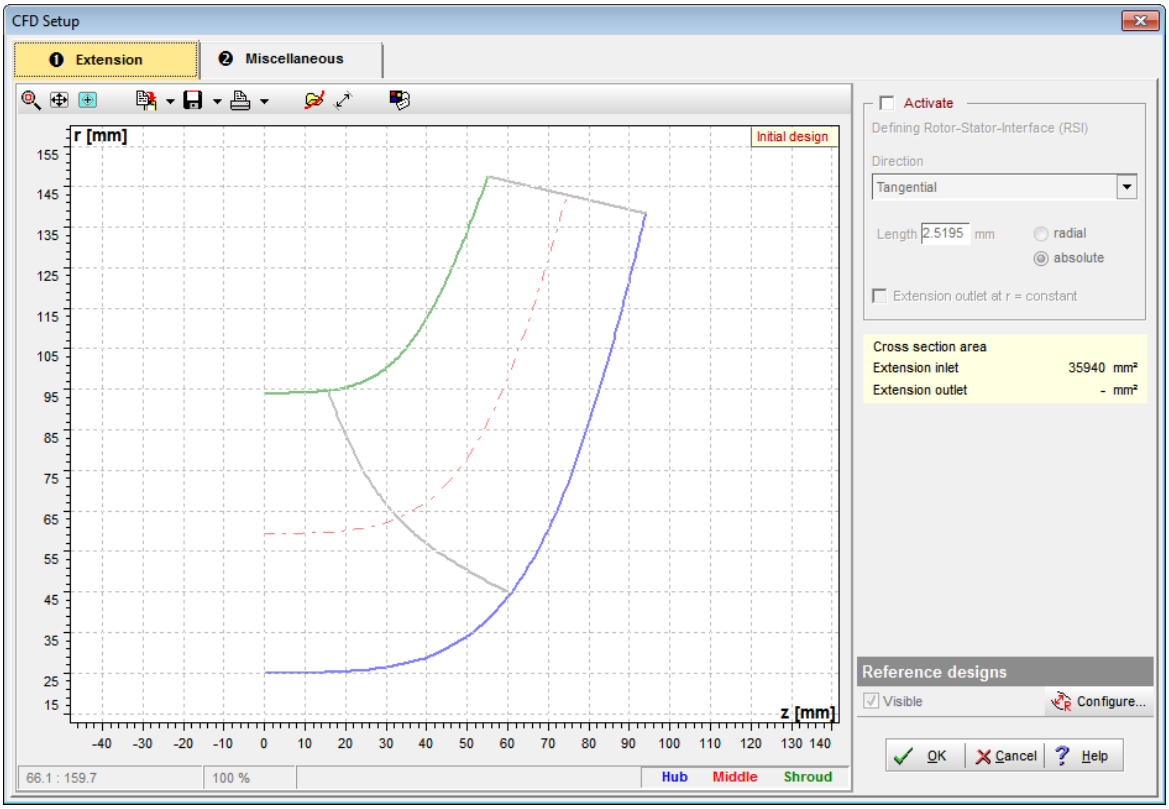
- Extension 360
- Impeller segment 363
- Blade O-Grid 367
- Through - flow area 367
- Blade projection 367

Diese Elemente dienen ausschließlich zur Strömungssimulation (CFD) und stellen keine Geometrie im eigentlichen Sinne dar.

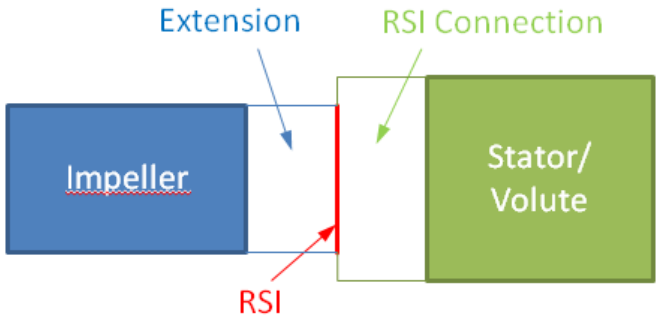
8.5.1 Extension

? Impeller | CFD Setup | Extension

Die entworfene Geometrie kann in meridionaler Richtung an der Abströmseite erweitert werden.



Die **Extension** definiert das Rotor-Stator-Interface (RSI). Dessen Werte werden bei der nachfolgenden Komponente als Eintrittsgeometrie berücksichtigt, so dass die Geometrien und auch die darauf basierenden Netze der beiden Komponenten zueinander passen. Typischerweise liegt das RSI mittig zwischen der rotierenden und der stehenden Komponente.



(RSI Connection: siehe Other 367)

Die Nutzung der Extension wird empfohlen, da sonst die Austrittskanten der Schaufeln genau auf dem Rotor-Stator-Interface liegen würden, was sowohl Vernetzungsprobleme als auch numerische Simulationsfehler verursachen kann. Vernetzungsprobleme könnten vor allem für kleine Werte der Schaufelwinkel ß2 auftreten.

Die Auswahlliste **Direction** definiert die Richtung der Extension. Wenn tangential ausgewählt wurde, werden Trag- und Deckscheibe tangential verlängert.
Unterhalb kann dei Länge (**Length**) der Extension spezifiziert werden, wobei diese radial oder absolut (in der oben festgelegten Richtung) angeben werden kann.
Zusätzlich kann die Option **Extension outlet at r = constant** aktiviert werden, wodurch erzwungen wird, dass der Austritt der Extension horizontal verläuft (parallel zur z-Achse).

Die somit entworfene Extension wird automatisch im Diagramm dargestellt.

Bei unbeschaufelten Statoren ist die Extension nicht nötig und daher nicht aktivierbar.

Mögliche Warnungen

Problem	Lösungsmöglichkeiten
The length of the extension is smaller or equal to the distance tolerance. This might cause sewing defects in "Meridian.Flow Domain" during model finishing.	
Die Länge der Extension ist kleiner oder gleich der Abstands-Toleranz 368. Dies kann zu Fehlern beim Zusammennähen von Flächen während der Modell-Fertigstellung 370 führen.	Falls geometrische Probleme auftreten, Abstands-Toleranz oder die Länge der Extension anpassen
Extension outlet has nearly constant radius. Selecting "Extension outlet at r = constant" is recommended.	

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Problem	Lösungsmöglichkeiten
Die Endpunkte von Hub- und Shroud-Extension haben einen leicht unterschiedlichen Radius. Dies kann dazu führen, dass die Flächen der angrenzenden RSI Connection zu fast ebenen Kegeln werden. Solche Flächen können zu Problemen beim Import in andere CAD/CFD-Systeme führen.	Die Endpunkte von Hub- und Shroud-Extension auf den gleichen Radius setzen, indem die Option "Extension outlet at r = constant" ausgewählt wird.

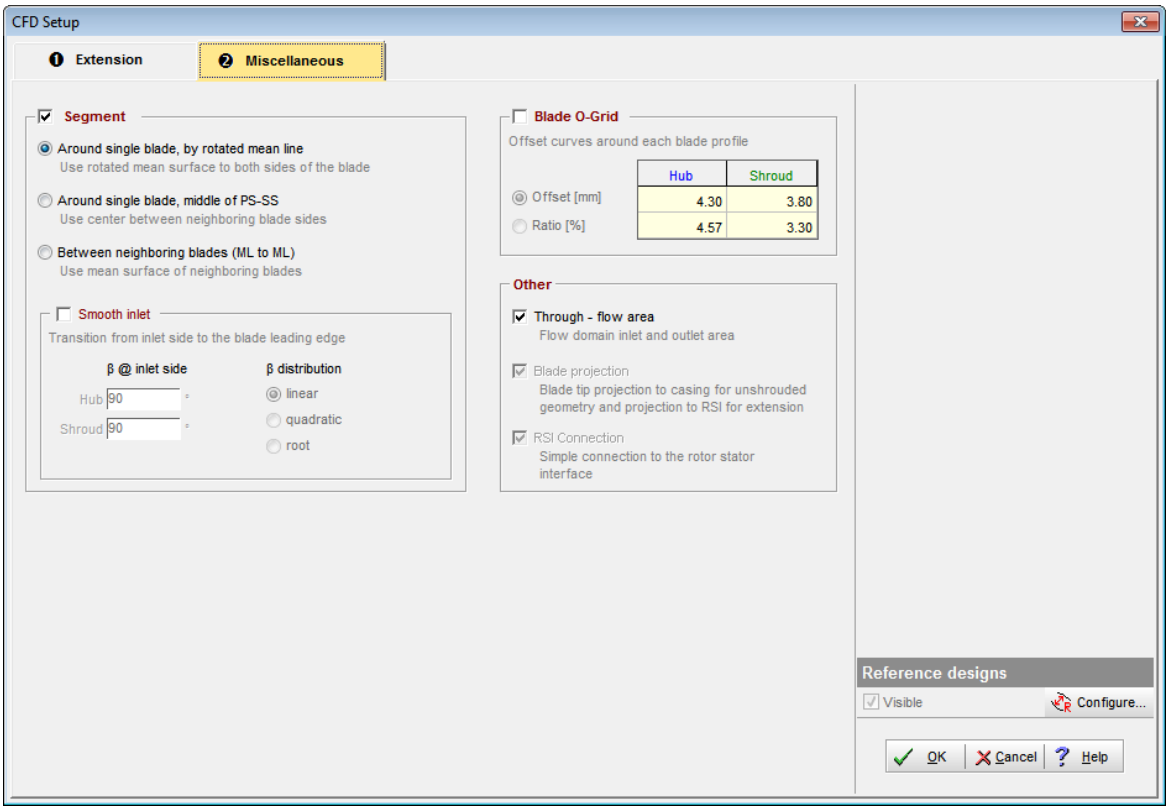
8.5.2 Miscellaneous

? Impeller | CFD Setup | Miscellaneous

Hier können verschiedene virtuelle Elemente erzeugt werden:

- Segment 363
- Blade O-Grid 367
- Other 367

© CFturbo Software & Engineering GmbH

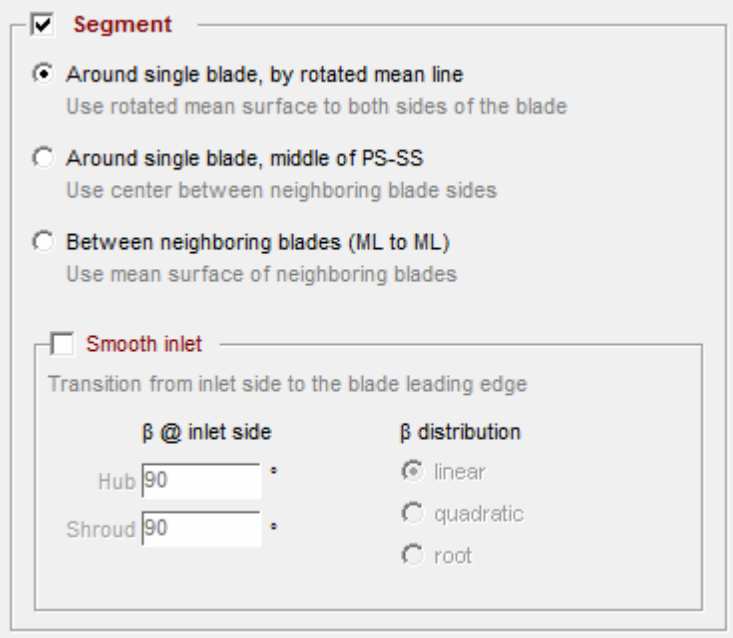


8.5.2.1 Segment

? Impeller | CFD Setup | Miscellaneous | Segment

Das **Segment** ist der Strömungskanal, der den kleinstmöglichen rotationssymmetrischen Teil des Laufrades darstellt.

© CFturbo Software & Engineering GmbH


Segment
Around single blade, by rotated mean line
Use rotated mean surface to both sides of the blade
Around single blade, middle of PS-SS
Use center between neighboring blade sides
Between neighboring blades (ML to ML)
Use mean surface of neighboring blades
Smooth inlet
Transition from inlet side to the blade leading edge
β @ inlet side
Hub 90 °
Shroud 90 °
β distribution
linear
quadratic
root

Für den Entwurf gibt es die folgenden Möglichkeiten:

"Around single blade, by rotated mean line"

Die Grundfläche (mean surface) einer Schaufel wird in beide Richtungen in die Mitte des Strömungskanals rotiert.

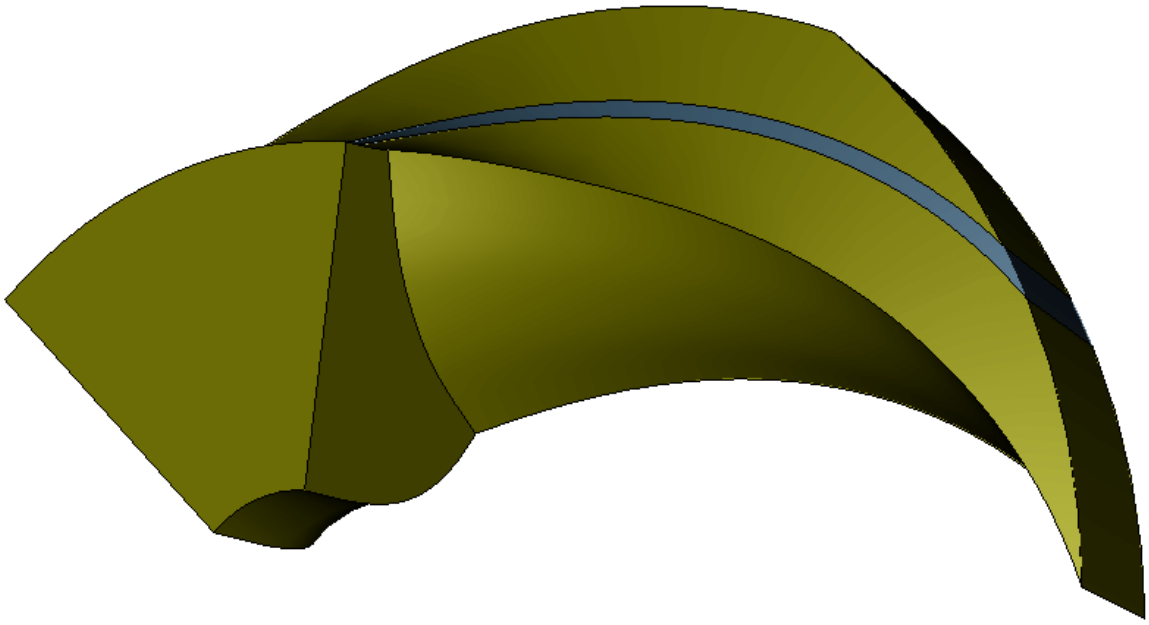
"Around single blade, middle of PS-SS"

Die Mitte zwischen Druck- und Saugseite zweier benachbarter Hauptschaufeln bildet die Segment-Grenze. Dieser Typ empfiehlt sich bei dicken und asymmetrischen Schaufeln. Er garantiert, dass sich die Schaufeln und die periodischen Flächen des Segments nicht schneiden.

"Between neighboring blades (ML to ML)"

Die Grundflächen (mean surfaces) zweier benachbarter Hauptschaufeln bilden den Strömungskanal. Bei diesem Typ ist momentan die Modell-Fertigstellung 370 nicht möglich.

© CFturbo Software & Engineering GmbH



"Around single blade, by rotated mean line"

Mit **"Smooth inlet"** wird ein gleichmäßiger Übergang vom Zuström- zum Schaufelbereich ermöglicht. Die Fläche ergibt sich aus einer virtuellen Verlängerung der Schaufelskelettlinien 312 von der Vorderkante der Schaufel (Hinterkante bei Turbinen) bis an die Eintrittsfläche 367 (Austrittsfläche bei Turbinen).

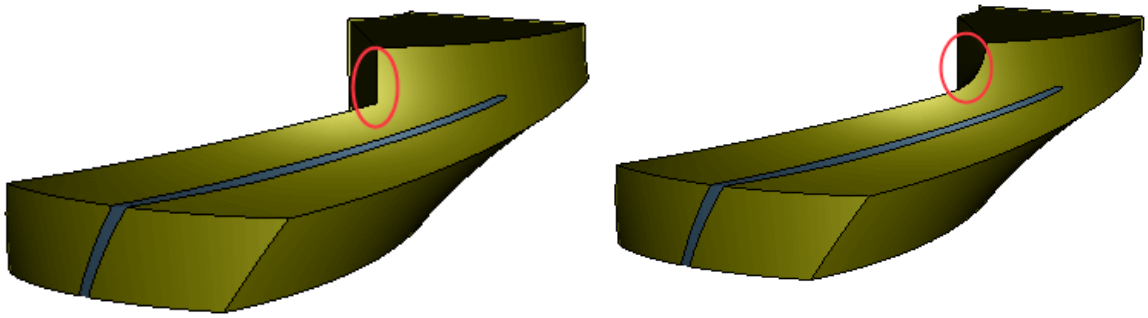
Beim β-Verlauf (**β distribution**) von der Vorderkante der Schaufel (β_{B1}) bis an die Eintrittsfläche 367 ($\boldsymbol{\beta_{inlet}}$) kann zwischen folgenden Funktionen gewählt werden:

- linear
- quadratisch
- Wurzel

Die Werte fur β_{B1} werden in den Blade properties 299 definiert. An der Eintrittsfläche 367 verlaufen die Winkel von $\boldsymbol{\beta_{inlet}}$ von Trag- zur Deckscheibe linear.

ohne "Smooth inlet" mit "Smooth inlet"

© CFturbo Software & Engineering GmbH



3D-Modell

Das Segment kann aus bis zu 3 Solids bestehen:

- Segment.Real Geometry
  Segment für den durch reale Geometrien begrenzten Strömungsraum (definiert durch Meridiankontur 262)
- Segment.Extension
  Segment der virtuellen Geometrie Extension 360 (optional)
- Segment.RSI Connection
  Segment der virtuellen Geometrie RSI Connection 367 (optional)

Mögliche Warnungen

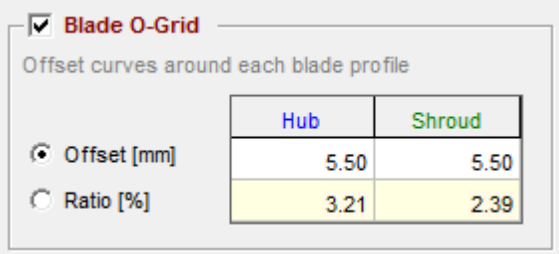
Problem	Lösungsmöglichkeiten
3D-Error: Could not create solid for ... RSI Connection	
Nicht unterstützte RSI Connection Geometrie, z.B. wenn sie sich nur auf einer Seite (Hub bzw. Shroud) befindet	RSI Connection 367 abwählen oder Geometrie ändern
Allgemeines Problem bei der Solid-Erzeugung	Siehe 3D Modell 175

© CFturbo Software & Engineering GmbH

8.5.2.2 Blade O-Grid

? Impeller | CFD setup | Miscellaneous | Blade O-Grid

Es können Hilfskurven für die Vernetzung erzeugt werden, die in einem konstanten Abstand um jeden Schaufel-Profilschnitt verlaufen.



Offset

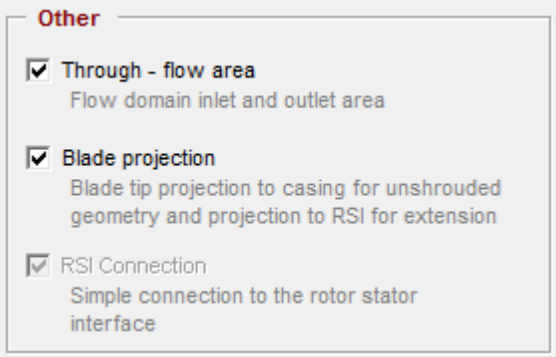
Absoluter Abstand der Hilfskurven von der Schaufel

Ratio

Verhältnis des Offset zum Abstand zweier benachbarter Schaufeln (an der Schaufelmitte)

8.5.2.3 Other

? Impeller | CFD Setup | Miscellaneous | Other


Other
Through - flow area
Flow domain inlet and outlet area
Blade projection
Blade tip projection to casing for unshrouded geometry and projection to RSI for extension
RSI Connection
Simple connection to the rotor stator interface

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Through-flow area

Eintrittsfläche (**Inlet**) und Austrittsfläche (**Outlet**) definieren den Ein- und Austritt des gesamten Strömungskanals.

Blade projection

Im Falle eines halboffenen Laufrades wird der letzte Schaufel-Profilschnitt an das Gehäuse projiziert.

Falls eine Extension 360 existiert, wird die Schaufelhinterkante an das RSI projiziert.

Diese Option muss für ein erfolgreiches Exportieren nach ICEM-CFD (ANSYS) 122 aktiviert werden.

RSI connection

Befindet sich am Eintritt der Komponente ein Rotor-Stator-Interface (RSI), so kann ein vorhandener Spalt automatisch durch die RSI connection geschlossen werden. Diese Flächen dienen der Erzeugung eines vereinfachten, geschlossenen Volumenmodells für die Strömungssimulation unter Vernachlässigung von Radseitenräumen oder anderen Gehäuseteilen.

(siehe auch Extension 360)

8.6 Modell-Einstellungen

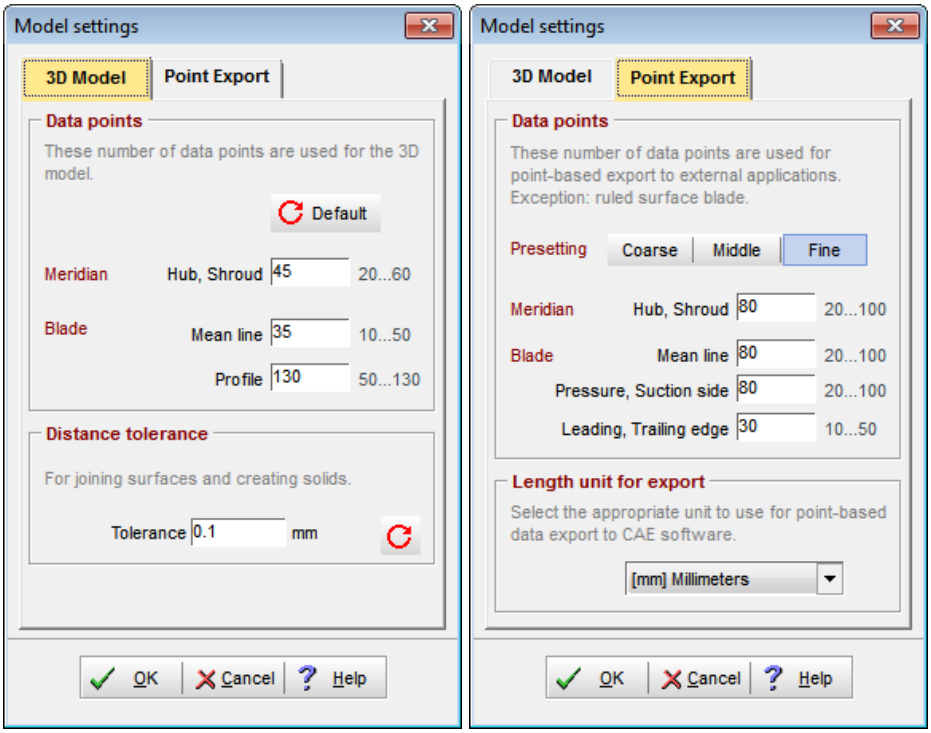
? Impeller | Model settings

Unter **Model settings** kann die Anzahl der zu erzeugenden Datenpunkte für das 3D-Modell und für die punktbasierten Export-Formate festgelegt werden.

Die Festlegung erfolgt jeweils separat für alle Geometrieteile.

- **Meridian**: Trag-/Deckscheibe
- **Schaufel**: Skelettlinie, Druck-/Saugseite, Vorder-/Hinterkante

© CFturbo Software & Engineering GmbH



3D Model

Distance tolerance

Die Abstands-Toleranz definiert den maximal zulässigen Abstand zwischen vernähten Flächen, z.B. den Flächen eines Solids.

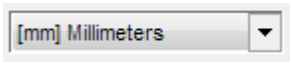
Wenn sie zu klein gewählt wird, können die Solids nicht erzeugt werden. Wenn sie zu groß gewählt wird, werden beim Erzeugen von Solids kleine Flächen ignoriert.

Point Export

Presetting

Auswahl aus 3 globalen Feinheiten (grob, mittel, fein).

Length unit for Export



© CFturbo Software & Engineering GmbH

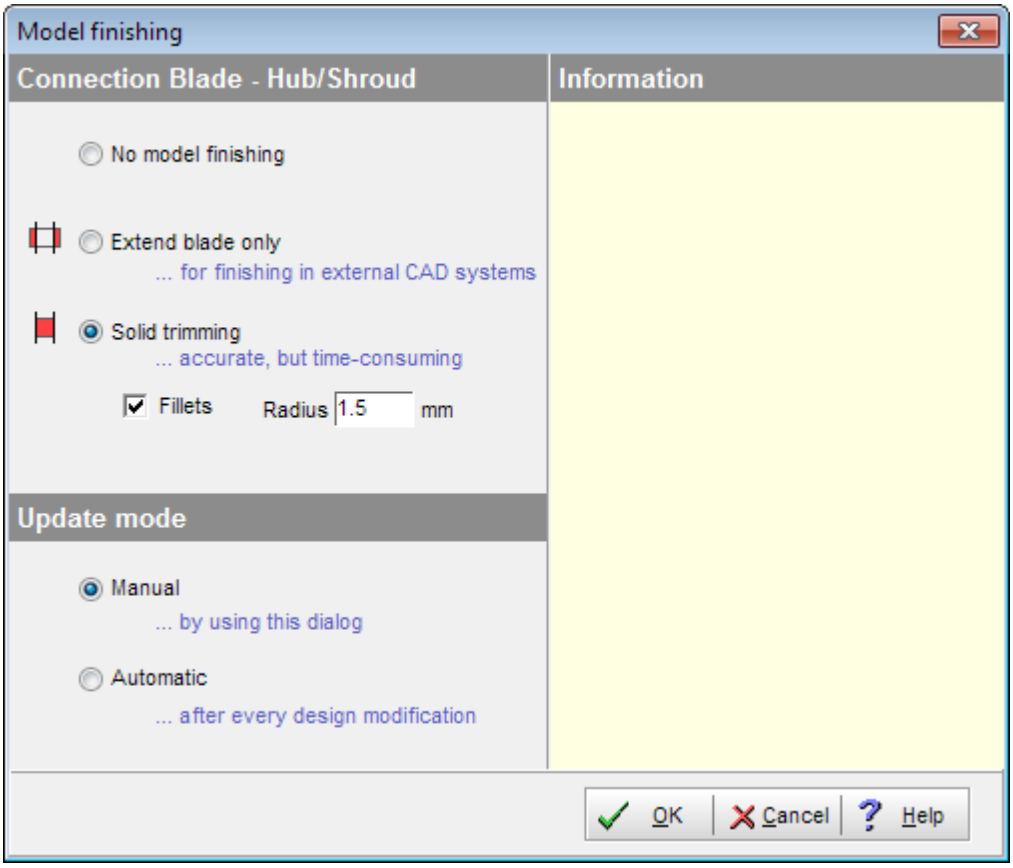
Die Maßeinheit für den Export der Geometriedaten kann festgelegt werden. Es ist darauf zu achten, dass in den entsprechenden Programmen beim Import, sofern konfigurierbar, dieselben Maßeinheiten eingestellt sind.

Beim Erzeugen eines **neuen Laufrads** werden die Modell-Einstellungen vom zuletzt geöffneten Laufrad übernommen.

8.7 Modell-Fertigstellung

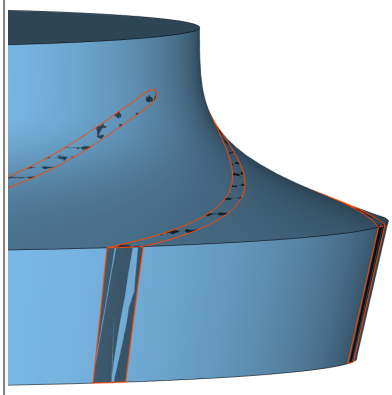
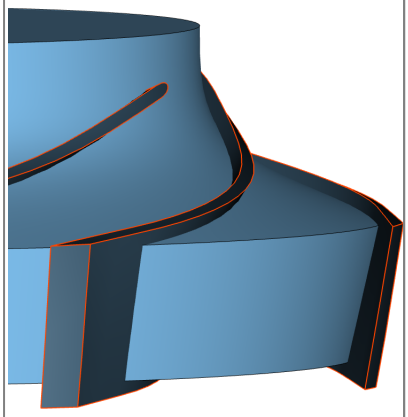
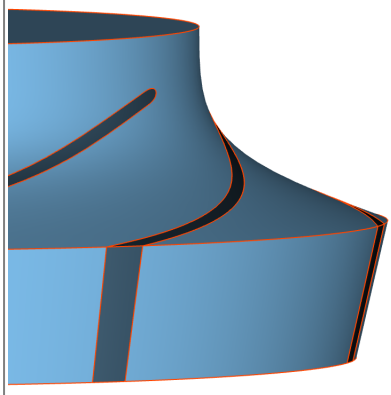
? Impeller | Model finishing

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, die Verbindung zwischen Schaufel, Trag- und Deckscheibe zu gestalten.

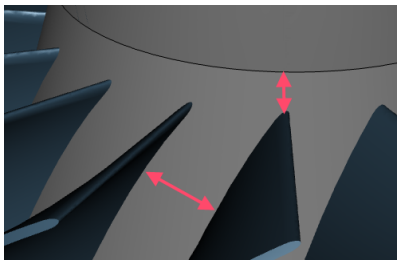


No model finishing	Es wird kein Model Finishing ausgeführt.

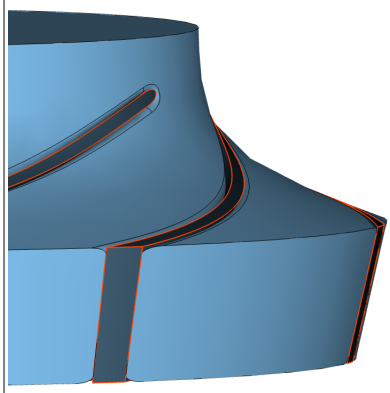
© CFturbo Software & Engineering GmbH

	
Extend blade only 	Die Schaufeln werden über Trag- und Deckscheibe sowie Hinterkante hinaus erweitert; zum späteren Verschneiden in einem CAD-System
Solid trimming 	Die Schaufeln werden mit Trag- und Deckscheibe sowie Hinterkante verschnitten; bezieht sich nur auf die Solids (und Solid Faces) von *Meridian.Flow Domain*, *Segment* und *Blade.* Das Verschneiden ist nur dann möglich, wenn zuvor die Solids für *Meridian.Flow Domain* und *Blade* erfolgreich erzeugt werden konnten. Das Verschneiden ist **zeitintensiv**. Es kann bis zu einer Minute (bzw. mehrere Minuten bei Laufrädern mit Splitter-Schaufeln) dauern. Da nur Solids verschnitten werden, hat diese Operation **für punktbasierte Exporte keinen Nutzen**. Um Unklarheiten beim Export zu vermeiden, bleiben Punkte und Flächen der Schaufel nicht im Originalzustand, sondern werden erweitert (s. Extend blade only 371).

© CFturbo Software & Engineering GmbH

	Details: Das *Solid trimming* basiert auf dem Segment[363]. Falls kein Segment existiert, wird es temporär erzeugt, bleibt aber für den Nutzer unsichtbar. Interner Ablauf: • Erweitern der Schaufeln (s. Extend blade only[371]) • Verschneiden *einer* Schaufel mit *Meridian.Flow Domain* • Aus *Meridian.Flow Domain* wird ein Segment herausgeschnitten. So entsteht das verschnittene *Segment.Real Geometry* • CFD Setup-Option: Falls eine Extension[360] oder RSI Connection[367] existiert, wird *Segment.Real Geometry* mit *Segment.Extension* und *Segment.RSI Connection* vereinigt. So entsteht *Segment.Flow Domain* • *Segment.Flow Domain* wird mehrmals kopiert. Die Kopien werden dann rotiert und zusammengenäht, um eine neue *Meridian.Flow Domain* zu erzeugen. • CFD Setup-Option: Falls Blade projection[367] gewählt wurde, werden die entsprechenden Projektionsflächen exakt verschnitten.
Option: ***Schaufelfußverrundung*** ☑ Fillets Radius 1.5 mm	Verrundung der Schaufelfüße; bezieht sich nur auf die Solids (und Solid Faces) von *Meridian.Flow Domain* und *Segment.* Der **Fillet-Radius** darf nicht zu groß gewählt werden.  Die Verrundung ist nicht möglich, wenn sich die Verrundungen von zwei benachbarten Schaufeln treffen würden, oder wenn die Verrundung über den Laufradseintritt hinausragen würde.

© CFturbo Software & Engineering GmbH



Aktualisierung (Update mode)

- Manual — Das 3D-Modell wird nur nach Aufruf des Dialoges aktualisiert.
- Automatic — Das 3D-Modell wird nach jeder Design-Änderung automatisch aktualisiert.

Symbol im Hauptfenster

Das Symbol zeigt den Status der Modell-Fertigstellung.

Es wurde bisher noch keine Fertigstellung festgelegt.

Das 3D-Modell wurde den Änderungen entsprechend aktualisiert.

Es wurden Änderungen am Design vorgenommen, aber das 3D-Modell ist **nicht aktuell** (nicht fertiggestellt) oder die Modell-Fertigstellung schlug fehl.

Mögliche Warnungen

Problem	Lösungsmöglichkeiten
Model finishing currently NOT up-to-date	
Modell-Fertigstellung (Model finishing) ist noch nicht durchlaufen worden;	Modell-Fertigstellung 370 öffnen und mit <OK> bestätigen

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Problem	Lösungsmöglichkeiten
somit ist das 3D-Modell nicht aktuell	
Extend/solid trimming could fail due to high tangential difference between hub and shroud at leading/trailing edge and low number of blade profiles.	
Geringe Anzahl von Skelettlinien	Anzahl der Skelettlinien 299 auf mindestens 4 setzen
Finishing type was reset to "No model finishing" because solid trimming is not supported for selected CFD segment type.	
Solid trimming wird für Segment-Typ "ML to ML" nicht unterstützt	Segmenttyp 362 ändern
Finishing type was reset to "No model finishing" because solid trimming is not possible.	
Solid trimming ist nicht möglich, wenn die Schaufel aufgrund der Schaufeldicke die meridionalen Grenzen überschreitet.	Schaufelentwurf so ändern, dass die Schaufel innerhalb der meridionalen Grenzen liegt, z.B. durch Änderung der Schaufelkanten 336.
Fillets are not supported if leading/trailing edge is not fixed on inlet/outlet.	
Fillets werden nur unterstützt, wenn die Hinterkante am Austritt fixiert wurde (Vorderkante am Eintritt für Turbinen).	Meridiankontur 264 ändern: Vorder- / Hinterkante am Eintritt / Austritt fixieren
3D-Error: Finishing failed!	
Vorderkante sehr nahe an der Eintrittskante	Meridiankontur 262 ändern: Vorderkante nach hinten schieben
Eintrittskante (fast) tangential zur Trag- oder Deckscheibe	Meridiankontur 262 ändern: Tangentialität vermeiden
3D-Error: Finishing failed! (Fusing solids)	
Verschmelzen von realer Geometrie mit CFD Setup Komponenten (Extension oder RSI Connection) ist fehlgeschlagen.	Anzahl der Skelettlinien 299 erhöhen oder Extension / RSI Connection aus CFD Setup 359

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Problem	Lösungsmöglichkeiten
	entfernen
3D-Error: Blade projection to RSI failed!	
Projektion der Schaufel an das RSI (Extension) ist fehlgeschlagen.	CFD Setup 359: Extension verändern oder Blade projection entfernen
3D-Error: Blade tip projection to casing failed!	
Projektion des letzten Schaufel-Profilschnitts an das Gehäuse (Shroud) ist fehlgeschlagen.	CFD Setup 362: Blade projection oder RSI Connection entfernen

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Teil

9 Stator

? Stator

Dieses Kapitel beschreibt detailliert den Entwurfsprozess für CFturbo Statorkomponenten.

Die inhaltliche Gliederung entspricht im wesentlichen der Abfolge der Entwurfsschritte die während des Statorenentwurfs durchlaufen werden.

Entwurfsschritte

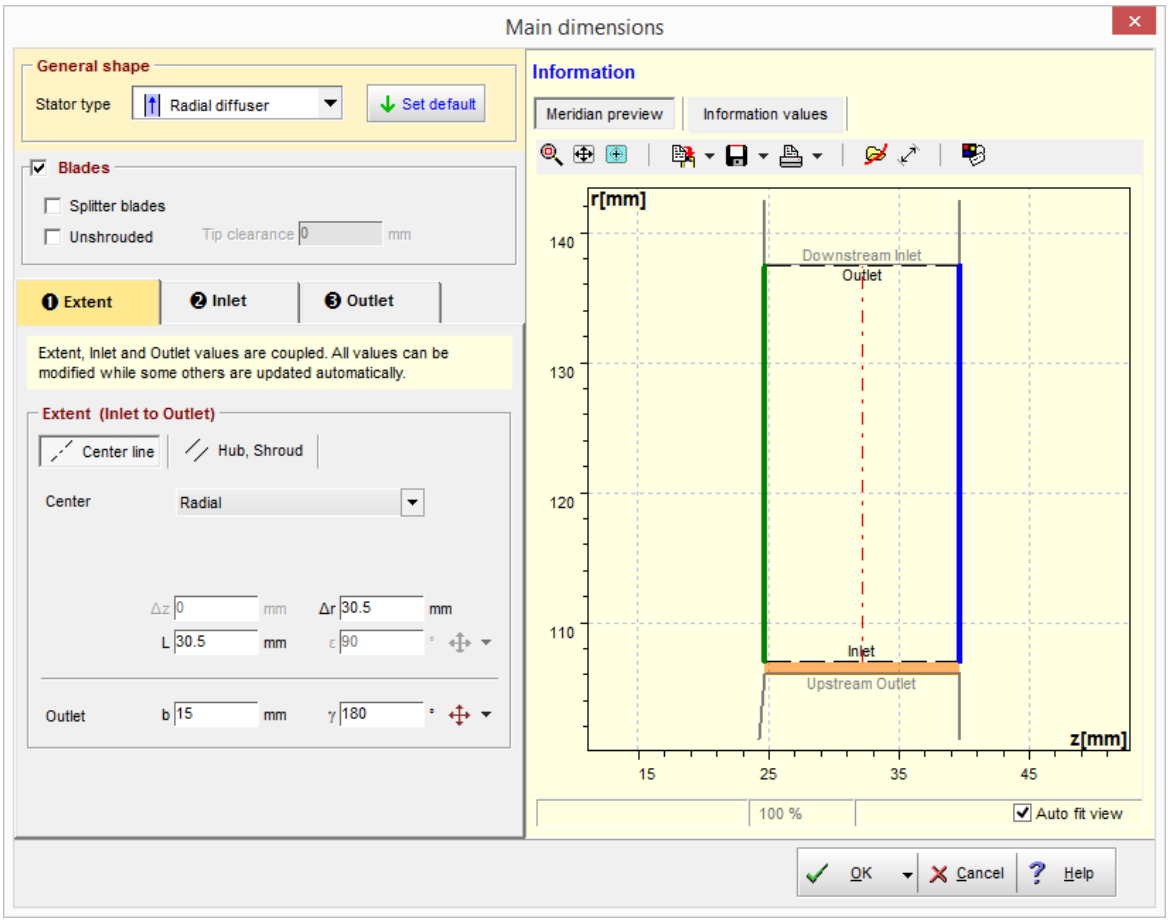
- Hauptabmessungen 377
- Meridiankontur 383
- Schaufeleigenschaften 384
- Schaufelskelettlinien 387
- Schaufelprofile 390
- Schaufelkanten 390
- Modell-Fertigstellung 391
- Modell-Einstellungen 391
- CFD Setup 391

9.1 Hauptabmessungen

? Stator | Main dimensions

Der Menüpunkt **Main Dimensions** dient der Festlegung der Hauptabmessungen des Stators.

© CFturbo Software & Engineering GmbH



Allgemeine Form (General Shape)

Hier wird zuerst die allgemeine Form des Stators festgelegt. Derzeit stehen folgende Typen zur Verfügung:

- Freiform-Stator
- Radialdiffusor

Über den Schalter "Set default" können die Standard-Einstellungen für den jeweiligen Statortyp gesetzt werden.

Schaufeln (Blades)

Hier wird festgelegt, ob der Stator beschaufelt oder unbeschaufelt sein soll.

Ist er beschaufelt, kann die Anzahl der Schaufeln festgelegt werden und das Vorhandensein von

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Zwischenschaufeln (**Splitter blades**) definiert werden.

Über **Unshrouded** kann festgelegt werden, ob der Stator geschlossen oder halboffen ausgeführt werden soll. Im Falle des halboffenen Stators muss die Spaltweite (**Tip clearance**) eingegeben werden.

Informationen

Rechts im Dialog sind Informationen dargestellt.

- Der Meridianschnitt (**Meridian preview**) stellt eine Vorschau der entworfenen Geometrie dar und basiert auf den bis hierher entworfenen Hauptabmessungen. Es werden die generellen Größenverhältnisse wiedergespiegelt.

- Unter **Information values** werden wichtige Kennzahlen aufgelistet, die sich aus den berechneten bzw. festgelegten Hauptabmessungen ergeben. Dabei sind die konkreten Größen davon abhängig, welche Registerseite links ausgewält wurde: Extent 379, Inlet 382 oder Outlet 383.
  Ist die Schrift blau dargestellt, so wird ein Hinweis zum empfohlenen Bereich dieser Größe angezeigt, wenn der Mauszeiger über die Tabellenzeile bewegt wird.
  Ist die Schrift rot dargestellt, so befindet sich der aktuelle Wert außerhalb des empfohlenen Bereiches.

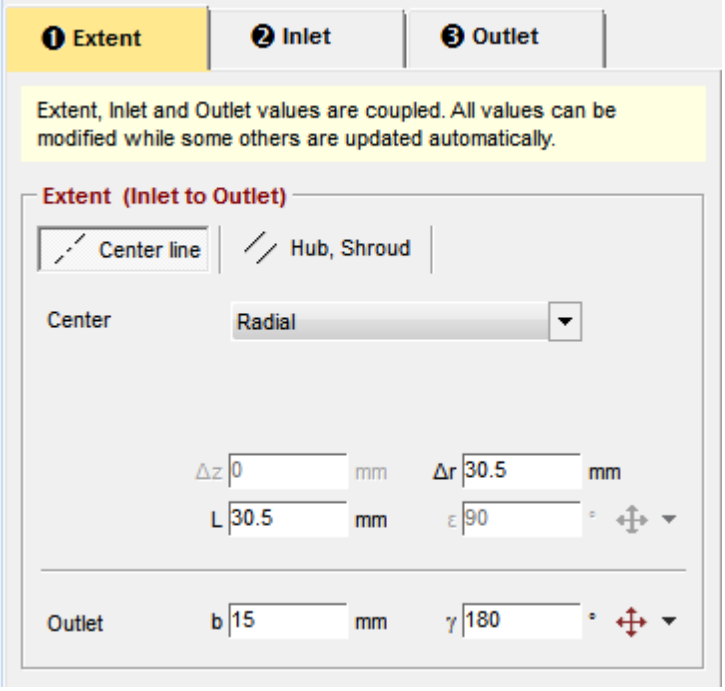
Details

- Schaufelzahl 385
- Ausdehnung (Extent) 379
- Eintritt (Inlet) 382
- Austritt (Outlet) 383

9.1.1 Ausdehnung (Extent)

Die Ausdehnung eines Stators ist immer im Zusammenhang mit seinem Eintritt 382 und Austritt 383 zu sehen. Diese 3 Bereiche sind gekoppelt, d.h. einer ergibt sich zwangsweise aus den beiden anderen.

© CFturbo Software & Engineering GmbH



Die Ausdehnung zwischen Ein- und Austritt kann prinzipiell über 2 alternative Möglichkeiten definiert werden:

1. Mittellinie (Center line)

- Vorwahl der Ausdehnungsrichtung: Radial, Axial, Tangential (zum Austritt der vorangegangenen Komponente), Freiform
- Definition der Ausdehnung durch axiale Erstreckung **Δz** und radiale Erstreckung **Δr**
  oder
  durch Länge **L** und Winkel **ε** der Mittellinie gegenüber der Horizontalen
- Definition des Endquerschnitts (Inlet oder Outlet) durch Breite **b** und Winkel **γ** gegenüber der Horizontalen

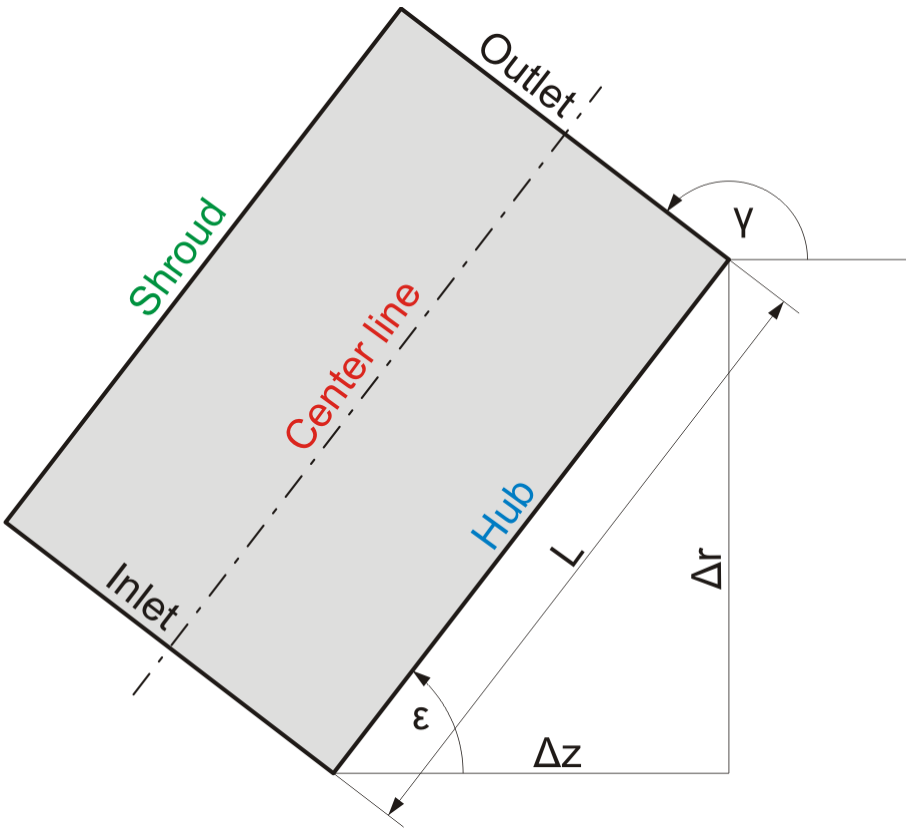
2. Trag-, Deckscheibe (Hub, Shroud)

jeweils separat für Tag- und Deckscheibe:

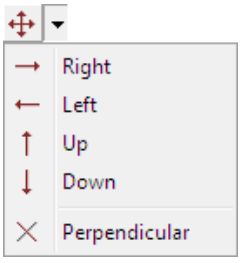
- Vorwahl der Ausdehnungsrichtung: Radial, Axial, konst. Querschnittsfläche (bezüglich der Gegenseite), Tangential (zum Austritt der vorangegangenen Komponente), Freiform
- Definition der Ausdehnung durch axiale Erstreckung **Δz** und radiale Erstreckung **Δr**
  oder

© CFturbo Software & Engineering GmbH

durch Länge **L** und Winkel der Mittellinie gegenüber der Horizontalen **ε**



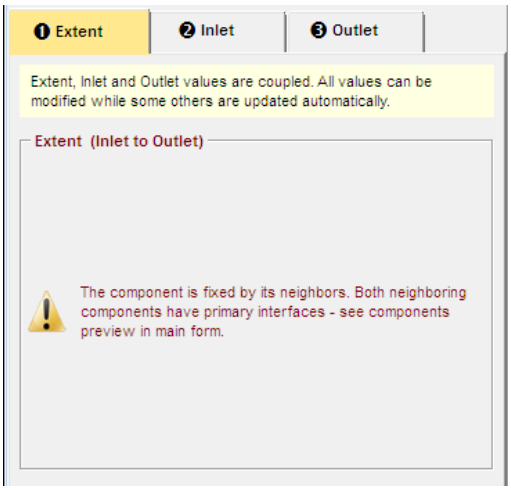
Die Winkel ε und γ sind so definiert, dass sie horizontal nach rechts 0° sind und entgegen dem Uhrzeigersinn (mathematisch positiv) anwachsen. Als Hilfsmittel steht bei den Winkeleingaben ein Menü mit einigen Standard-Richtungen zur Verfügung:



0°
180°
90°
270°
Perpendicular: ε rechtwinklig zum Ein- bzw. Austrittsquerschnitt
Parallel: γ parallel zum Ein- bzw. Austrittsquerschnitt

Ob durch die Ausdehnung der Eintritt oder der Austritt beeinflusst wird, hängt vom Interface 381-Typ ab. Hat der Stator am Austritt die primäre Interface-Seite, so wird der Austritt (Outlet) durch die Ausdehnung beeinflusst. Anderenfalls, sofern der Stator am Eintritt die primäre Interface-Seite hat, wird der Eintritt (Inlet) verändert.

© CFturbo Software & Engineering GmbH


Extent
Inlet
Outlet
Extent, Inlet and Outlet values are coupled. All values can be modified while some others are updated automatically.
Extent (Inlet to Outlet)
The component is fixed by its neighbors. Both neighboring components have primary interfaces - see components preview in main form.

Sind sowohl am Eintritt als auch am Austritt die benachbarten Komponenten primär, so ist keine Festlegung der Ausdehmnung möglich, da diese bereits von den Nachbarn vorgegeben wird.

Information

Design point	Informationen zum Nennpunkt, siehe Global setup 67
Ratio outlet to inlet	
Diameter ratio	d_{Out}/d_{In}
Width ratio	b_{Out}/b_{In}
Area ratio	A_{Out}/A_{In}
Inlet area	A_{In}
Outlet area	A_{Out}

9.1.2 Eintritt (Inlet)

Hier wird der Eintritt des Stators definiert.

Wenn der Austritt (Outlet) geändert werden kann, so wird er durch Addition der Ausdehnung (**Extent**) zum Eintritt (**Inlet**) aktualisiert. Anderenfalls wird die Ausdehnung (**Extent**) angepasst.

➜ Detail: siehe Interface Definition 40

© CFturbo Software & Engineering GmbH

9.1.3 Austritt (Outlet)

Hier wird der Austritt des Stators definiert.

Wenn der Eintritt (**Inlet**) geändert werden kann, so wird er durch Subtraktion der Ausdehnung (**Extent**) vom Austritt (**Outlet**) aktualisiert. Anderenfalls wird die Ausdehnung (**Extent**) angepasst.

➜ Detail: siehe Interface Definition 40

9.2 Meridiankontur

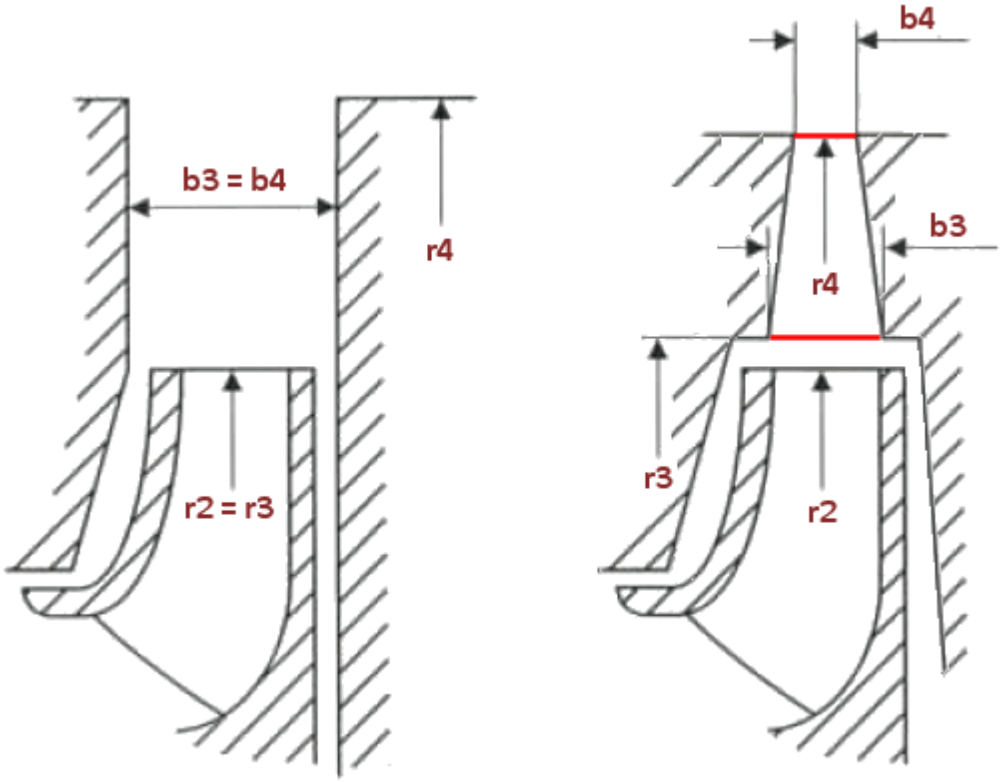
? Stator | Meridional contour

Es stehen prinzipiell dieselben Möglichkeiten wie beim Entwurf des Meridianschnittes 262 von Laufrädern zur Verfügung.

Die Endpunkte der Meridiankurven sind bei Statoren durch die Hauptabmessungen 377 fixiert und können hier nicht verändert werden.

Bei Statoren vom Typ "Radialdiffusor" (siehe Hauptabmessungen 377) sind folgende geometrische Größen definiert:

© CFturbo Software & Engineering GmbH



9.3 Schaufeleigenschaften

? Stator | Blade properties

Es stehen prinzipiell dieselben Möglichkeiten wie bei den Schaufeleigenschaften 287 von Laufrädern zur Verfügung.

Zur Unterstützung des Auswahl der Schaufelzahl dient ein Dialog 385, der durch Betätigen des Schalters rechts neben dem Eingabefeld für die Schaufelzahl geöffnet werden kann.

Die Austrittswinkel αTE sind fur die meisten Schaufeltypen Eingabewerte entsprechend der gewünschten Umlenkung. Modelle für die Minderumlenkung stehen bei Statoren nicht zur Verfügung. Gegebenenfalls sind Winkelübertreibungen zu berücksichtigen.

Bei Statoren vom Typ "Radialdiffusor" (siehe Hauptabmessungen 377) stehen 2 zusätzliche spezielle Schaufeltypen (**Blade shape**) zur Verfügung:

1. Log. Spiral + Straight 2D (Logarithmische Spirale + Gerade)

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Der Anfangs-Bereich der Schaufeln, in denen keine Schaufelüberdeckung auftritt, ist wirkungslos und entwickelt sich analog dem Spiralgehäuse als logarithmische Spirale.

Der eigentliche Diffusor im Bereich der Schaufelüberdeckung ist gerade. Der Übergangspunkt zwischen den Bereichen ist auf der log. Spirale verschiebbar (siehe Skelettlinien 387).

2. Circular + Free-form 2D (Kreisbogen + Freiform)

Der Anfangs-Bereich der Schaufeln, in denen keine Schaufelüberdeckung auftritt, entwickelt sich als Kreisbogen mit den Randbedingungen Eintrittsradius r3, Eintrittswinkel α3 und ideale Lichtweite a3.

Der eigentliche Diffusor im Bereich der Schaufelüberdeckung wird als Bezierkurve entworfen, der wahlweise 2 (gerade), 3 oder 4 Bezier-Punkte aufweisen kann (wählbar über Kontext-Menü). Der Übergangspunkt zwischen den Bereichen ist auf dem Kreisbogen verschiebbar (siehe Skelettlinien 387).

Die Berechnung der Lichtweite a3 erfolgt alternativ nach Drallsatz oder Verzögerungsverhältnis:

a) Const. swirl (Drallsatz)

Die Lichtweite wird entprechend dem Drallsatz berechnet, wobei die Verzögerung entsprechend dem Faktor f_{a3} (1.1...1.3) erhöht wird.

$$a_3 = f_{a3} \cdot \frac{d_3}{2} \left\{ \exp\left(\frac{Q}{b_3 c_{u2} r_2 z} \right) - 1 \right\}$$

b) Deceleration (Verzögerungsverhältnis)

Alternativ kann ein gewähltes Verzögerungsverhältnis bei der Berechnung der Lichtweite zugrunde gelegt werden. Das Verhältnis c_{3q}/c_2 liegt im Bereich 0.7...0.85.

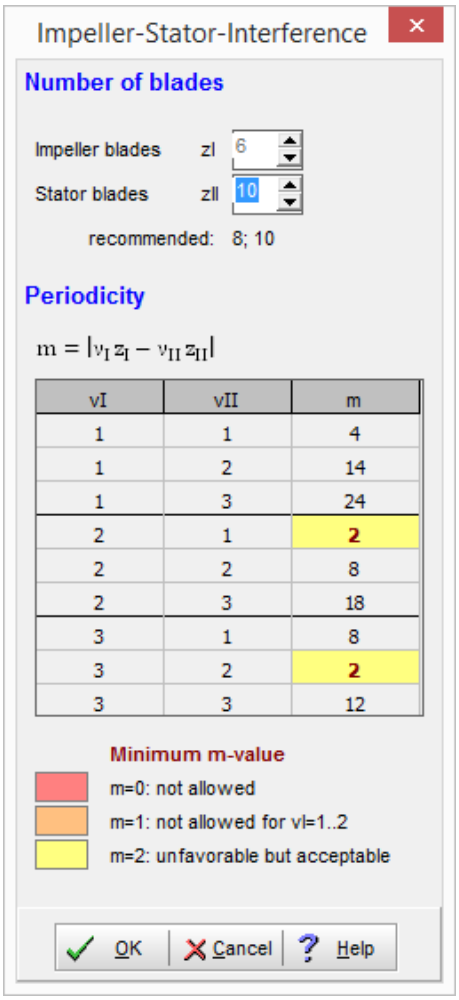
$$a_3 = \frac{Q}{z b_3 c_2} \cdot \left(\frac{c_2}{c_{3q}} \right)$$

Der Winkel an der Hinterkante αTE ergibt sich bei diesen beiden Schaufeltypen damit automatisch erst beim Skelettlinien-Entwurf und kann nicht explizit vorgegeben werden ("**var.**")

9.3.1 Schaufelzahl

Die Schaufelzahl, der Außendurchmesser des Leitrades und die Lichtweite am Eintritt bestimmen den eigentlichen Diffusorteil des Leitrades und haben somit maßgeblichen Einfluss auf die Strömungsverluste.Diese 3 Parameter sind also sorgfältig aufeinander abzustimmen.

© CFturbo Software & Engineering GmbH



Die Schaufelzahl von Lauf- und Leiträdern muss sorgfältig aufeinander abgestimmt werden, um Druckpulsation und damit mechanische Belastung und Geräuschemmission möglichst niedrig zu halten.

Die Schaufelzahl des Laufrades wird vom Laufrad vorgegeben und kann nicht variiert werden. Existiert kein Laufrad, so ist dies ein Eingabewert.

Die Anzahl der Leitradschaufeln kann verändert werden, wobei sie sich an den empfohlenen Werten orientieren sollte.

Entsprechend der Schaufelzahlen z entstehen im Lauf- und Leitrad unterschiedliche Druckfelder, die sich relativ zueinander bewegen und durch die Periodizität p gekennzeichnet sind:

- Laufrad-Periodizität $p_I = \nu_I \cdot z_I$
- Leitrad-Periodizität $p_{II} = \nu_{II} \cdot z_{II}$
  (ν = ganzzahliger Multiplikator)

Die Interferenz der beiden Druckfelder lässt sich nicht exakt berechnen. Maßgebend für das Gesamtdruckfeld ist jedoch die Differenz der einzelnen Periodizitäten:

$$m = |p_I - p_{II}| = |\nu_I \cdot z_I - \nu_{II} \cdot z_{II}|$$

Folgende Empfehlungen sollten eingehalten werden:

- m = 0 (Lauf- und Leitschaufelzahl haben gemeinsame ganzzahlige Multiplikatoren) sollte in jedem Fall vermieden werden, da hierbei starke Druckpulsationen entstehen.
- m = 1 sollte im Hinblick auf unzulässige Wellenschwingungen in der ersten und zweiten Ordnung (ν_I=1; ν_I=2) nicht zugelassen werden, wenn möglich auch in der dritten Ordnung (ν_I=3).
- m = 2 stellt ebenfalls eine periodische Belastung des Laufrades dar, ist jedoch in den meisten Fällen zulässig.
- Schwingungsformen mit m >2 erzeugen in der Regel keine Resonanz und demzufolge zulässig.

Bei jeder Modifikation der Leitschaufelzahl z_{II} wird m für alle Kombinationen (ν_I = 1..3) und (ν_{II} = 1..3) berechnet und in der Tabelle dargestellt. Dabei werden Werte m=0 rot eingefärbt, m=1 orange und m=2 gelb.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

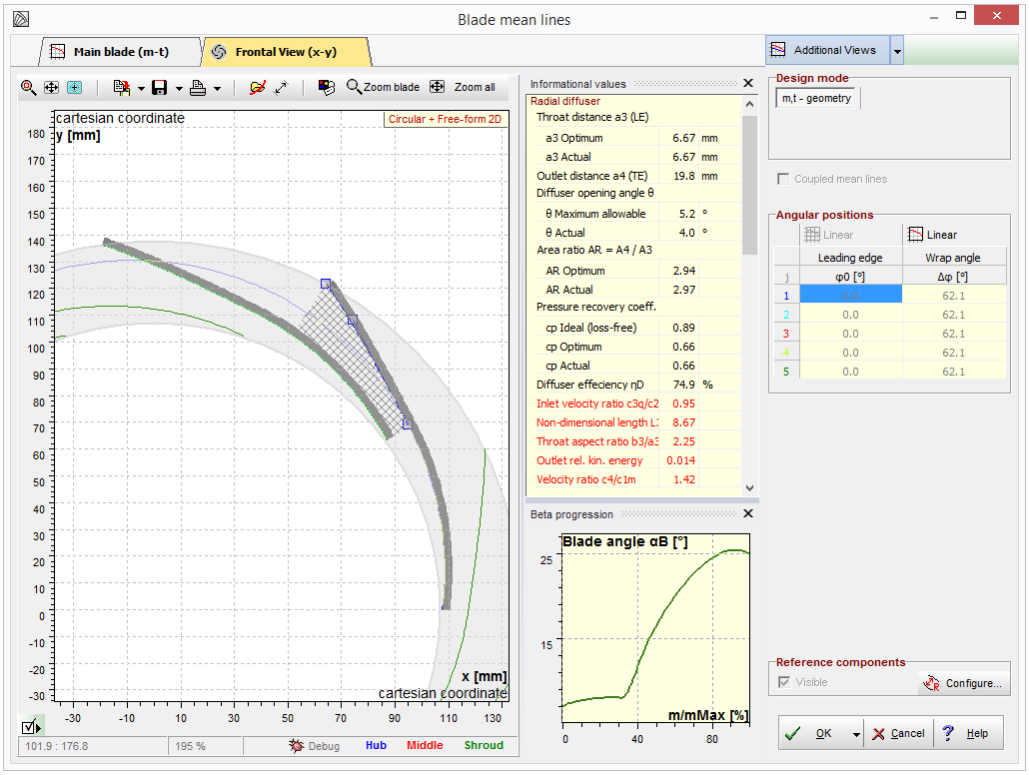
Die empfohlenen Leitschaufelzahlen für die angegebene Laufschaufelzahl werden unterhalb des Eingabefeldes angezeigt.

9.4 Schaufelskelettlinien

? Stator | Blade mean lines

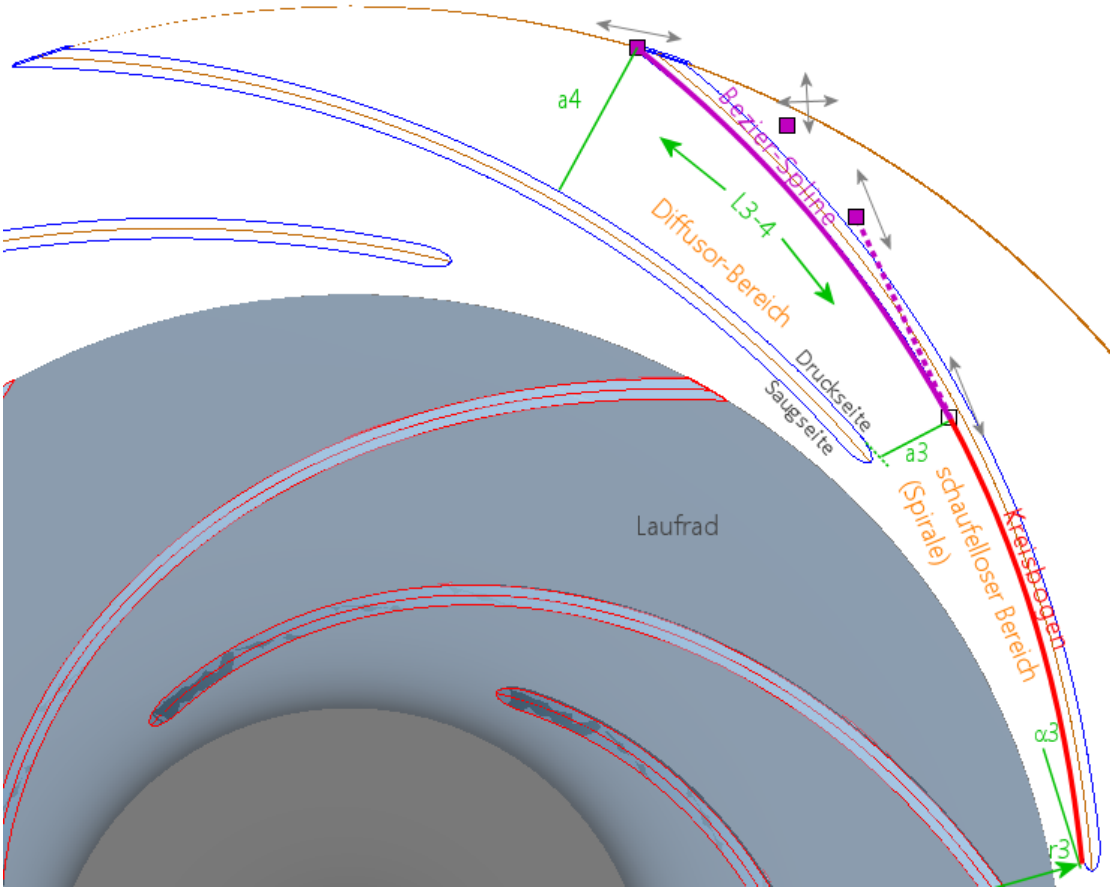
Es stehen prinzipiell dieselben Möglichkeiten wie beim Entwurf der Skelettlinien [312] von Laufrädern zur Verfügung.

Bei den speziellen Schaufeltypen für Radialdiffusoren "**Log. Spiral + Straight 2D**" und "**Circular + Free-form 2D**" erfolgt der Skelettlinien-Entwurf in der Frontalansicht. Die Skelettlinien stellen dabei die Innenseite der Schaufel (konkave Seite) dar.



An der zu entwerfenden Schaufel (rot/magenta in der Skizze) spielt die Schaufeldicke keine Rolle. Die gegenüberliegende Seite des Strömungskanals entsteht durch Rotation + Auftragung der Schaufeldicke. Die Schaufeldicke wird als linear zwischen sLE und sTE (siehe Schaufeleigenschaften [384]) angenommen, sofern die Dickenverteilung noch nicht definiert wurde. Anderenfalls wird die in der Schaufelprofilierung [390] festgelegte Dickenverteilung benutzt. Bei der späteren Schaufelprofilierung wird die Dicke nur einseitig angetragen.

© CFturbo Software & Engineering GmbH



Der Diffusor-Bereich muss zur Minimierung der Verluste sehr sorgfältig ausgelegt werden. Folgende Diffusor-Kriterien werden rechnerisch erfasst und im Bereich **Radial diffuser** unter **Informational values** angezeigt. Werte außerhalb des empfohlenen Bereiches werden dabei rot dargestellt.

Name	Beschreibung	Definition/ empfohlener Bereich
Throat distance a3 (LE)	Lichtweite am Eintritt (Vorderkante)	
a3 Optimum *	optimaler Wert: Mittelwert aus Berechnung nach Drallsatz und Verzögerungsverhältnis	siehe Schaufeleigenschaften 384
a3 Actual	realisierter Wert: kürzester Abstand von der Schaufel-Vorderkante zur benachbarten Schaufel	
Outlet distance a4	kürzester Abstand von der Schaufel-Hinterkante zur benachbarten Schaufel	

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Diffuser opening angle θ	Öffnungswinkel des Diffusors	
θ Maximum allowable	max. zulässiger Wert für ablösefreie Verzögerung in Abhängigkeit vom äquivalenten Eintrittsradius und Länge	$\vartheta_{max} = 16.5° \cdot \sqrt{\frac{R_{3,eq}}{L}}$ $R_{3,eq} = \sqrt{\frac{a_3 b_3}{\pi}}$
θ Actual	realisierter Wert berechnet mit äquivalentem Eintrittsradius, Länge, Ein- und Austrittsfläche	$\vartheta_{eq} = \frac{R_{3,eq}}{L}\left(\sqrt{\frac{A_4}{A_3}} - 1\right)$
Area ratio AR=A4/A3	Flächen-/Verzögerungsverhältnis	$A_R = \frac{A_4}{A_3}$
AR Optimum *	optimaler Wert	$A_{R,opt} = 1.05 + 0.184\frac{L_{3-4}}{R_{3,eq}}$
AR Actual	realisierter Wert	$A_R < 3$
Pressure recovery coeff. cp	Druckrückgewinn-Beiwert des Diffusors	$c_p = \frac{p_4 - p_3}{\frac{\rho}{2} c_3^{\,2}}$
cp Ideal (loss-free) *	Druckrückgewinn in einem verlustlosen Diffusor	$c_{p,id} = 1 - \frac{1}{A_R^{\,2}}$
cp Optimum *	Druckrückgewinn bei optimalem Flächenverhältnis A_R	$c_{p,opt} = 0.36\left(\frac{L_{3-4}}{R_{3,eq}}\right)^{0.26}$
cp Actual *	Druckrückgewinn im realen (verlustbehafteten) Diffusor	basiert auf Versuchen; in Diagrammen dargestellt; Ziel: $c_{p,act} = c_{p,opt}$
Diffuser effeciency ηD *	Diffusorwirkungsgrad (Umsetzungsgrad)	

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Inlet velocity ratio c3q/c2	Eintrittsverzögerung	c_{3q}/c_2 = 0.7...0.85 für niedrige nq
Non-dimensional length L34/a3	Verhältnis Länge zu Lichtweite	$L_{3\text{-}4}/a_3$ = 2.5...6
Throat aspect ratio b3/a3	Verhältnis Eintrittsbreite zu Lichtweite	b_3/a_3 = 0.8...2
Outlet rel. kin. energy *	kinetische Energie am Diffusoraustritt; zur Minimierung der Verluste in Überströmkanälen mehrstufiger Maschinen	$\frac{c_4^2}{2gH_{opt}} = 0.02\ldots0.04$
Velocity ratio c4/c1m *	Verhältnis der Austrittsgeschwindigkeit zur Eintrittsgeschwindigkeit ins nachfolgende Laufrad bei mehrstufigen Maschinen	c_4/c_{m1} = 0.85...1.25

*** nur für Radialdiffusoren von Pumpen**

9.5 Schaufelprofile

? Stator | Blade profile

Es stehen prinzipiell dieselben Möglichkeiten wie beim Entwurf der Schaufelprofile 330 von Laufrädern zur Verfügung.

Bei den speziellen Schaufeltypen für Radialdiffusoren "**Log. Spiral + Straight 2D**" und "**Circular + Free-form 2D**" wird die Dicke nur einseitig angetragen (siehe Skelettlinie 387).

Bei Radialdiffusoren sind im Bereich **Info** dieselben Diffusor-Kennwerte dargestellt wie beim Entwurf der Skelettlinien 387. Grund ist der Einfluss der Schaufeldicke auf die Kennwerte.

9.6 Schaufelkanten

? Stator | Blade edges

Es stehen prinzipiell dieselben Möglichkeiten wie beim Entwurf der Schaufelkanten 336 von Laufrädern zur Verfügung.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

9.7 CFD Setup

? Stator | CFD Setup

Es stehen prinzipiell dieselben Möglichkeiten wie beim CFD-Setup 359 von Laufrädern zur Verfügung.

9.8 Modell-Einstellungen

? Stator | Model settings

Es stehen prinzipiell dieselben Möglichkeiten wie bei den Modell-Einstellungen 368 von Laufrädern zur Verfügung.

9.9 Modell-Fertigstellung

? Stator | Model finishing

Es stehen prinzipiell dieselben Möglichkeiten wie bei der Modell-Fertigstellung 370 von Laufrädern zur Verfügung.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Teil X

10 Volute

? Volute

Dieses Kapitel beschreibt detailliert den Entwurfsprozess für CFturbo Spiralkomponenten.

Die inhaltliche Gliederung entspricht im wesentlichen der Abfolge der Entwurfsschritte die während des Spiralenentwurfs durchlaufen werden.

Entwurfsschritte

- Zuströmung 393
- Querschnitt 399
- Spiralengeometrie 410
- Diffusor 418
- Spiralenzunge 424
- Modell-Einstellungen 435
- CFD Setup 434

10.1 Setup & Inlet

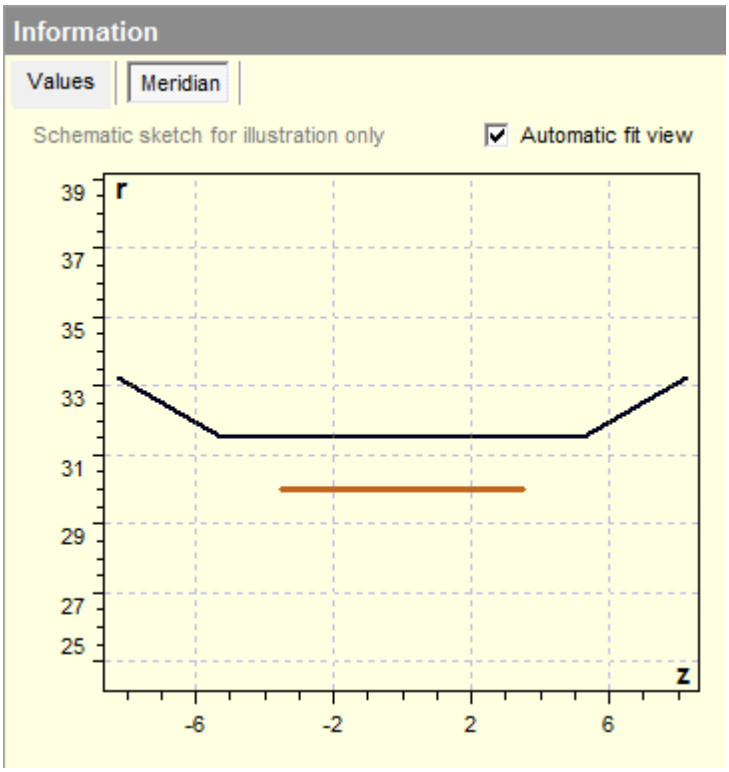
? Volute | Setup + Inlet

Der erste Schritt der Spiralgehäuse- Auslegung besteht in der Definition der Zuströmseite. Dies erfolgt in 2 Schritten:

(1) Setup 394

(2) Inlet details 398

© CFturbo Software & Engineering GmbH



Im rechten Bereich **Information** ist auf der Seite **Meridian** eine Meridianvorschau (z, r) des entworfenen Spiralen-Eintritts dargestellt.

In grau ist schematisch der Asutritt der vorangegangenen Komponente dargestellt, in braun die Lage des Interfaces.

Auto fit view sorgt wahlweise dafür, dass die Grafik automatisch skaliert wird, wenn sich geometrische Werte ändern.

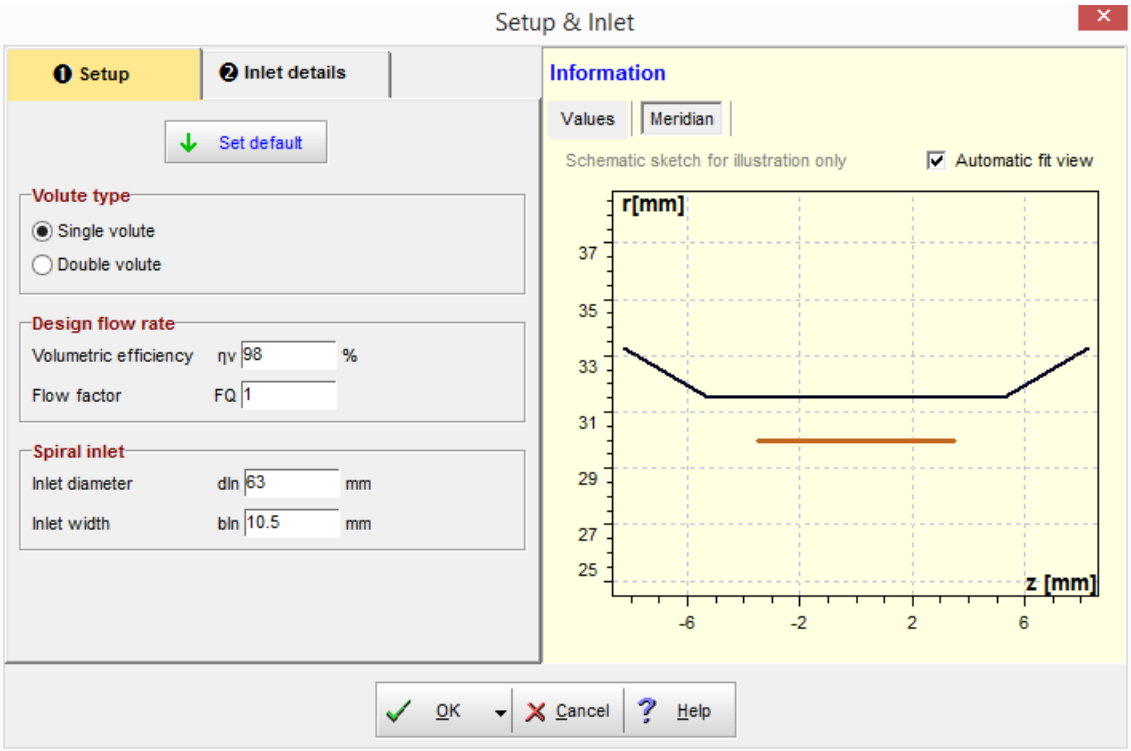
10.1.1 Setup

Auf der Seite **Setup** werden die für die Spiralenauslegung benötigten Werte definiert.

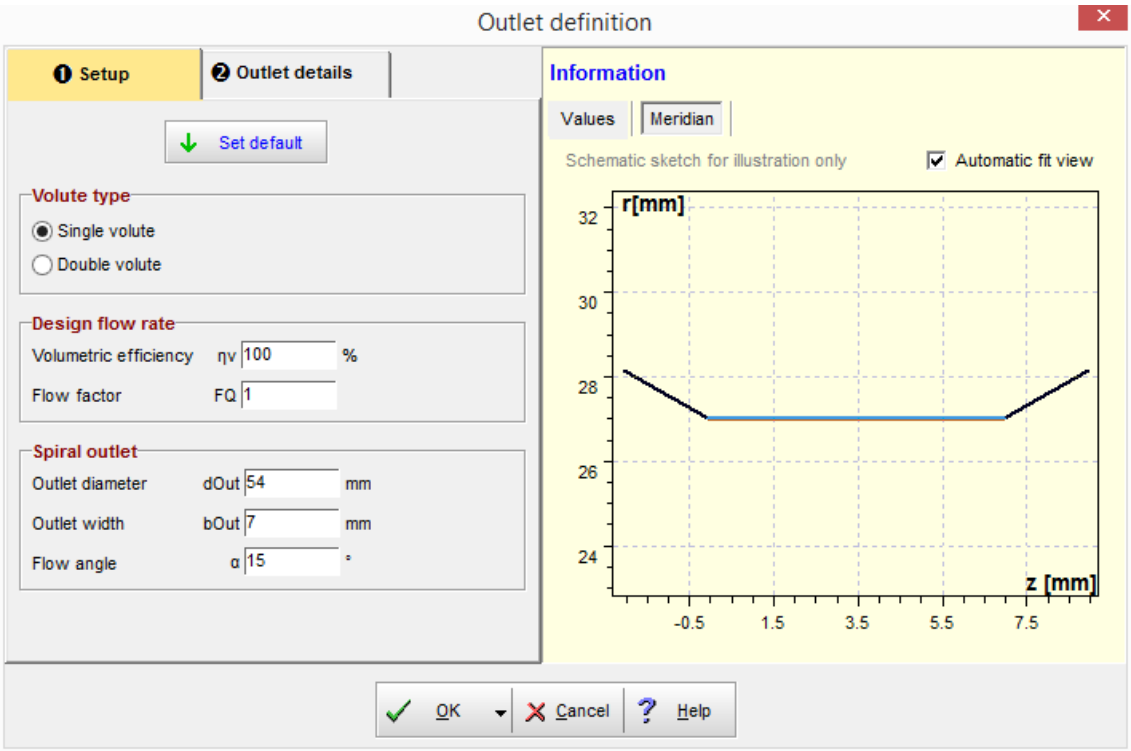
Je nach Projekttyp sind abweichende Eingabewerte notwendig (siehe unten).

Pumpen, Ventilatoren, Verdichter

© CFturbo Software & Engineering GmbH


Setup & Inlet
Setup
Inlet details
Set default
Volute type
Single volute
Double volute
Design flow rate
Volumetric efficiency ηv 98 %
Flow factor FQ 1
Spiral inlet
Inlet diameter dIn 63 mm
Inlet width bIn 10.5 mm
Information
Values
Meridian
Schematic sketch for illustration only
Automatic fit view
r[mm]
37
35
33
31
29
27
25
z [mm]
-6
-2
2
6
OK
Cancel
Help

Turbinen



Spiralentyp (Volute type)

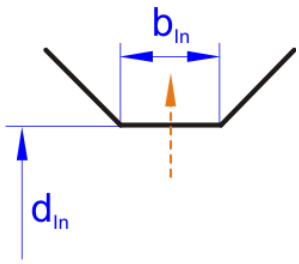
- Einfachspirale (Single volute, Standard)
  Dieser einfache Typ wird normalerweise benutzt und hat eine einzelne Spiralenzunge.
- Doppelspirale (Double volute)
  Eine zweite Spiralenzunge (Splitter) wird entworfen, um die Radialkräfte zu reduzieren.

Auslegungs-Förderstrom (Design flow rate)

- Volumetrischer Wirkungsgrad η_v (Standard: 1.0)
  zur Berücksichtigung interner volumetrischer Verluste (Rezirkulation)
- Förderstromfaktor F_Q (Standard: 1.0)
  zum Überdimensionieren, vor allem für besseren Wirkungsgrad im Überlastbereich

Spiraleneintritt (Spiral inlet, Austritt bei Turbinen)

- Eintrittsdurchmesser d_{In} (d_4)
- Eintrittsbreite b_{In} (b_4)
- Abs. Stromungswinkel α_4 (Turbinen)



© CFturbo Software & Engineering GmbH

Zu beachten:

Für eigenständige Spiralen muss zuerst das Inlet-Interface definiert werden, siehe Inlet Details 398, anstelle der Spezifikation der d_{In}- und b_{In}-Werte.

[Pumpen, Ventilatoren, Verdichter]

d_{In} und b_{In} sind passend zur vorangegangenen Komponente. Ist die vorangegangene Komponente ein Laufrad, so werden d_4 und b_4 mit Hilfe der Verhältnisse d_4/d_2 bzw. b_4/b_2 bestimmt, die aus Funktionen in Abhängigkeit von der spezifischen Drehzahl nq berechnet werden (siehe Approximationsfunktionen 135). Durch Betätigen des Schalters **Get default** oben können die Standardwerte neu berechnet werden.

Ein enger Abstand zwischen Laufrad und Spiralenzunge ist aus strömungstechnischer Sicht günstig. Aus akustischen und schwingungstechnischen Gründen ist jedoch ein gewisser Mindestabstand notwendig. Die Eintrittsbreite b_4 sollte so gewählt werden, dass sich im Spiralenendquerschnitt ein Verhältnis Breite/ Höhe nahe 1 ergibt. Das Verhältnis b_4/b_2 kann ohne wesentliche Nachteile für den Wirkungsgrad in relativ weiten Grenzen variiert werden. Bei radialen Rädern mit offenen Radseitenräume sind Werte bis b_4/b_2=2 möglich, teilweise auch deutlich höher. Bei höheren spezifischen Drehzahlen (breite Laufräder) hingegen würden hohe Breitenverhältnisse strömungstechnisch ungünstig sein (intensive Sekundärströmung, Verwirbelungsverluste) – hier sollte b_4/b_2 im Bereich 1.05...1.2 liegen.

Die Werte d_{In} und b_{In} sind gekoppelt an die entsprechenden Interface-Werte 398.

[Turbinen]

d_{Out} und b_{Out} müssen vom Nutzer gesetzt werden.

Information

Im rechten Bereich (**Values**) sind einige Berechnungsgrößen zur Information dargestellt:

Berechnungsförderstrom Q_i	
Eintritts/Austritts-Durchmesserverhältnis	d_{In}/d_2
Eintritts/Austritts-Breitenverhältnis	b_{In}/b_2

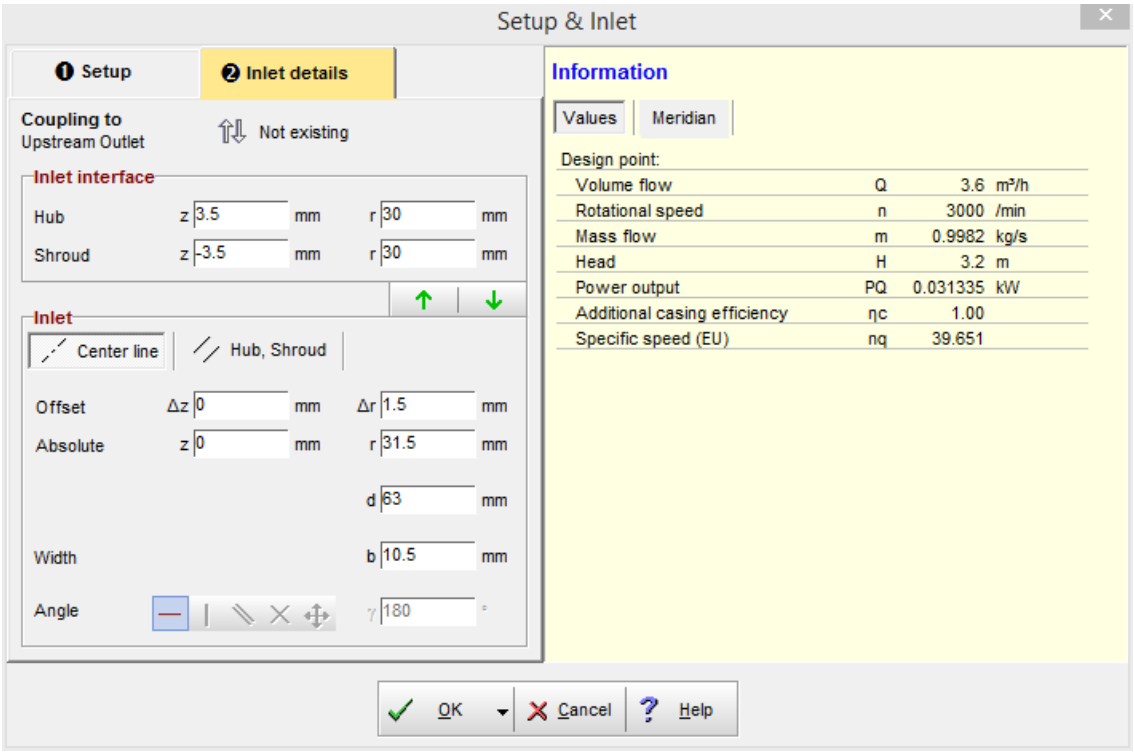
© CFturbo Software & Engineering GmbH

Meridiangeschwindigkeit am Eintritt/Austritt	c_m
Umfangsgeschwindigkeit am Eintritt/Austritt	c_u
Geschwindigkeit am Eintritt/Austritt	c
Strömungswinkel am Eintritt/Austritt	α

10.1.2 Inlet details

Auf der Seite **Inlet details** werden die Details des Inlet-Interfaces festgelegt.

Details: siehe Interface Definition 38



Eigenständige Spiralen

Für eigenständige Spiralen muss zuerst das Inlet-Interface definiert werden (jeweils z und r auf Hub- und Shroud-Seite), anstelle der Spezifikation der d_{In}- und b_{In}-Werte auf der Seite Setup 394.

Durch den Schalter ↓ werden die Interface-Werte auf die Geometrie transferiert. Rechts auf der

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Seite **Meridian** sollte nun die gewünschte Eintrittsgeometrie sichtbar sein.

Durchmesser- und Breitenverhältnis

Ist die Komponente vor der Spirale ein Laufrad, so sind die Eingabefelder für das Durchmesserverhältnis d_4/d_2 und das Breitenverhältnis b_4/b_2 verfügbar. Hier können mit Hilfe empirischer Funktionen der Eintrittsdurchmesser und die Eintrittsbreite festgelegt werden.

Information

Rechts im Bereich **Information** werden auf der Seite **Values** informative Werte angezeigt. Dies sind zum einen die Werte bezüglich des Auslegungspunktes (Global setup 67) und zum anderen Strömungsgrößen am Austritt der vorangegangenen Komponente.

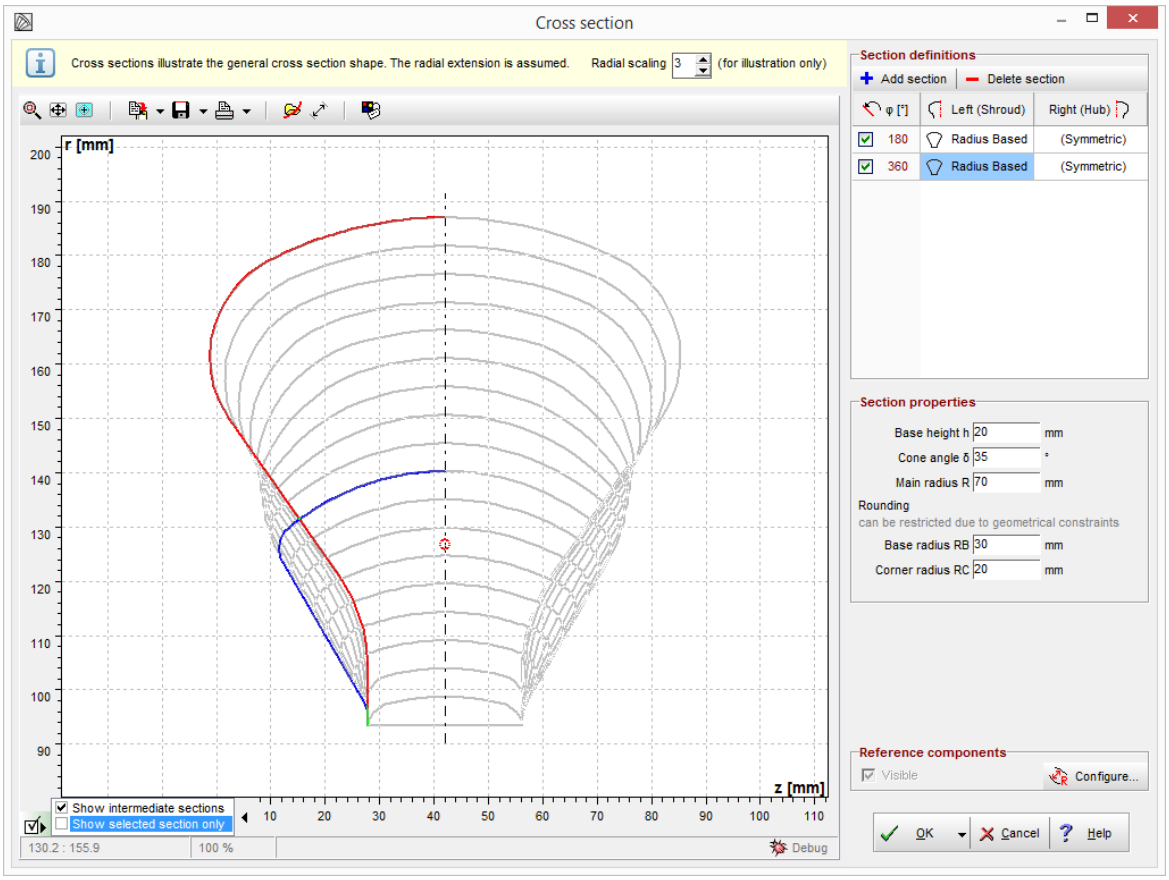
10.2 Querschnitt

? Volute | Cross Section

Im Dialog **Cross section** kann die Querschnittsform der Spirale gewählt werden. Angezeigt wird die prinzipielle Querschnittsform, wobei die radiale Erstreckung angenommen wird (radiale Skalierung kann oberhalb des Diagramms modifiziert werden).

Prinzipiell sind sehr schmale, „hochkant“ liegende Querschnitte zu vermeiden. Die realisierbare Querschnittsform ist in starkem Maße von der Fertigung und den Platzverhältnissen abhängig.

© CFturbo Software & Engineering GmbH



Sections

Die Tabelle enthält die Querschnitts-Definitionen (mindestens 1 Querschnitt). Jeder Querschnitt ist definiert durch:

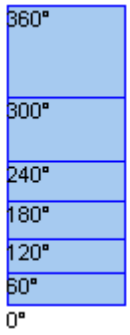
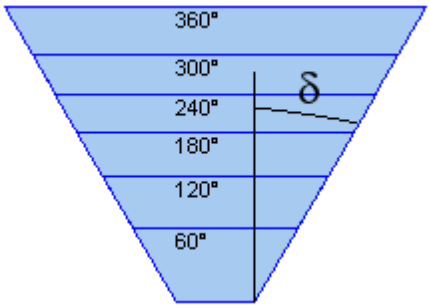
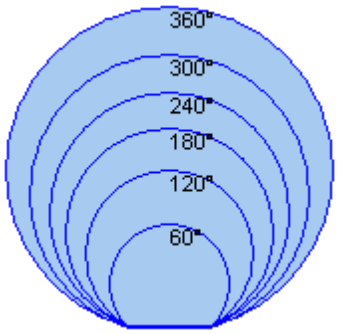
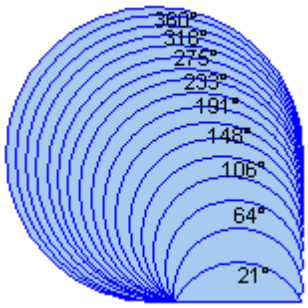
- die Position in Umfangsrichtung: Winkel φ
- (De)Aktivierung durch Auswahl des Kontrollfeldes auf der linken Seite (mindestens 1 Querschnitt muss aktiv sein)
- Querschnittsform der linken Seite
- optional Querschnittsform der rechten Seite oder symmetrisch

Die Querschnitts-Definitionen laufen im Bereich $0° < \varphi \leq 360°$. Der Querschnitt bei φ=0° ist immer flach - deshalb ist eine Querschnitts-Definition an dieser Position nicht sinnvoll.

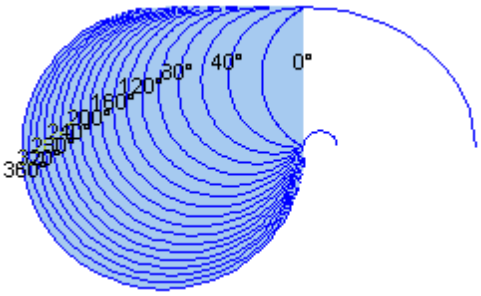
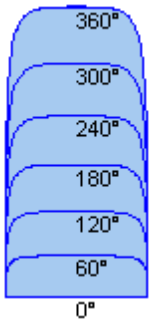
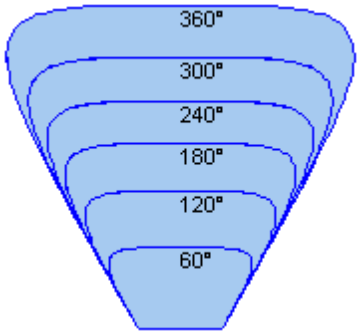
Zwischen 2 benachbarten Querschnitten wird ein gleichmäßiger Übergang realisiert. Wenn nur eine Querschnitts-Definition existiert, so wird diese für alle Umfangspositionen benutzt.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

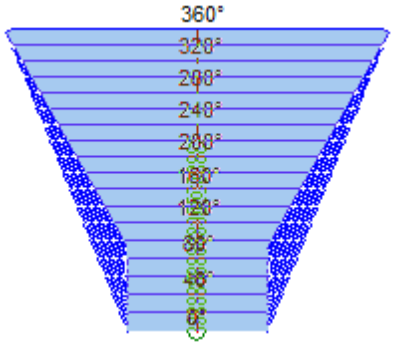
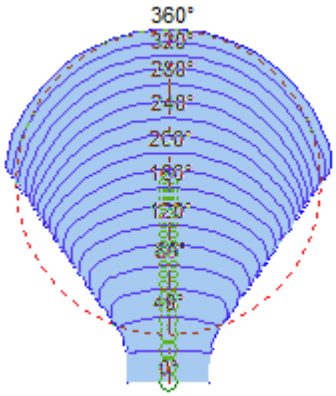
Folgende Querschnittsformen stehen zur Verfügung:

	**Rectangular** einfachste Querschnittsform; nicht bei Gussteilen realisierbar; nur bei kleinen spezifischen Drehzahlen sinnvoll, da sonst zu hohe Querschnitte entstehen
	**Trapezoid** nicht bei Gussteilen realisierbar; Öffnungswinkel δ kann vorgegeben werden; es entstehen flachere Querschnitte als beim Rechteckquerschnitt mit weniger intensiver Sekundärströmung
	**Round - symmetric** einfache Geometrie mit günstiger Spannungsverteilung; entwickelt sich nicht auf Rotationsflächen
	**Round - asymmetric, external** günstigere Sekundärströmungsstruktur als bei symmetrischen Kreisquerschnitten; häufig bei halbaxialen Laufrädern • **Strictly external**: Querschnitte unterschreiten nicht den Eintrittsradius • **Open to right**: asymmetrische Öffnung

© CFturbo Software & Engineering GmbH

	nach rechts (pos. z-Richtung) • **Square on top**: eckige Form der oberen rechten Ecke des Querschnitts
	**Round - asymmetric, internal** Limitierung der radialen Erstreckung; zusätzlicher Krümmer erforderlich siehe Interne Querschnitte 409
	**Bezier - Rectangle type** analog Rectangle; mit Abrundungen (Guss-radien) siehe Bezier-Querschnitt 404
	**Bezier - Trapezoid type** analog Trapezoid; mit Abrundungen (Guss-radien) siehe Bezier-Querschnitt 404

© CFturbo Software & Engineering GmbH

	**Line segments** siehe Line Segments-Querschnitt 405
	**Radius based** siehe Radius based-Querschnitt 408

Section properties

Hier können Eigenschaften des oberhalb in der Tabelle **Sections** selektierten Querschnitts festgelegt werden.

Details sind in der oben stehenden Tabelle beschrieben.

Display options

Im Bereich **Display options** kann die Darstellung der Querschnitte beeinflusst werden. Dies hat auf den weiteren Entwurf keinerlei Einfluss.

Einschränkungen

Für Doppelspiralen (double volutes) muss der Öffnungswinkel aller Querschnitte konstant sein. Daher sind runde Querschnitte und Line segments nicht verfügbar.

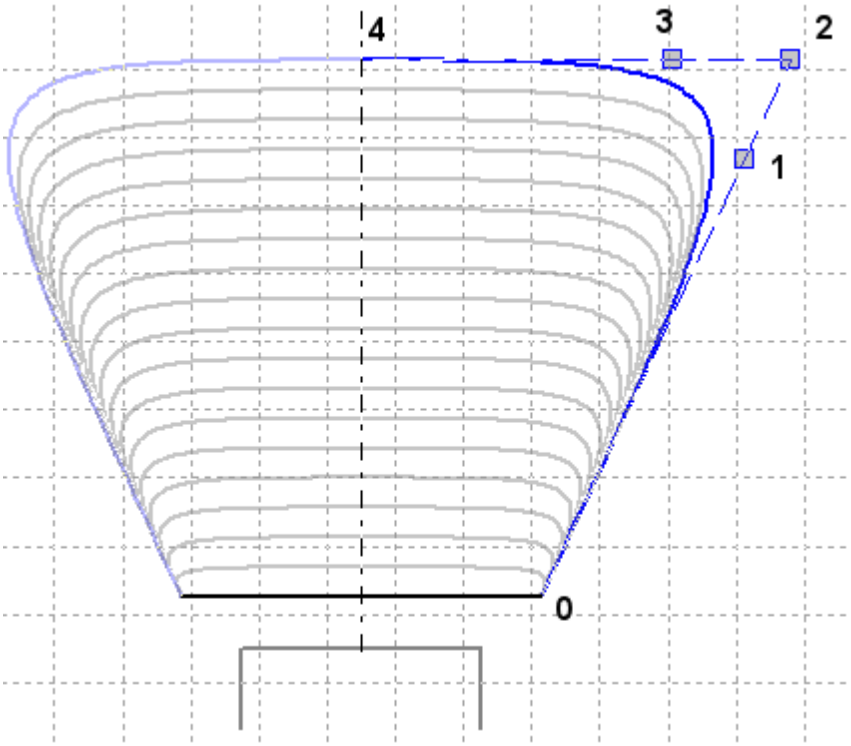
© CFturbo Software & Engineering GmbH

Wenn solche Querschnitte bereits Teil des Projektes sind, werden sie automatisch konvertiert, sobald Double volute ausgewählt wird (siehe Setup & Inlet 393). Die folgende Meldung erscheint in diesen Fällen:

- *"Volute section type(s) were modified due to double volute requirements."*
  wenn ein Querschnittstyp automatisch geändert wurde
- *"Cone angle(s) were modified due to double volute requirements."*
  wenn der Öffnungswinkel eines Querschnitts automatisch angepasst wurde

10.2.1 Bezier-Querschnitt

Beim Querschnitt **Bezier** wird die Form mit Hilfe einer Bezierkurve beschrieben.



Die halbe Querschnittsform wird durch ein Bezierpolynom 4. Grades beschrieben. Die Punkte 0 und 4 stellen dabei die Endpunkte dar und sind unveränderlich. Der Punkt 1 ist entlang einer Geraden verschiebbar, die dem Öffnungswinkel des Querschnitts entspricht (0° beim Rechtecktyp, δ beim Trapeztyp). Der Punkt 3 kann nur in horizontaler Richtung bewegt werden, um einen stetigen Übergang der Symmetriehälften zu gewährleisten. Der Schnittpunkt der beiden Geraden für die Punkte 1 und 3 wird mit S bezeichnet und spielt eine wichtige Rolle bei der Positionierung der Bezierpunkte 1 und 3. Der Punkt 2 ist frei beweglich und beeinflusst somit in starkem Maße die Querschnittsform. Beim Erstentwurf ist er mit dem Punkt S identisch.

Es kann zwischen 2 Grundformen des Querschnittes gewählt werden: Rechteck oder Trapez. Grundsätzlich wird nur der Spiralenendquerschnitt entworfen, alle anderen Querschnitte ergeben sich

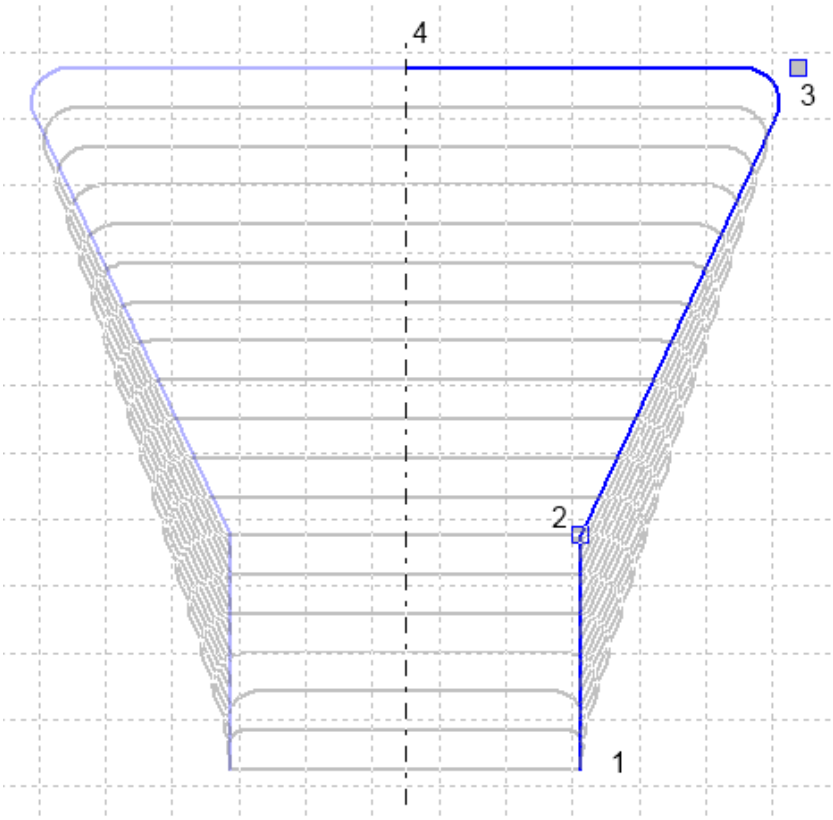
© CFturbo Software & Engineering GmbH

daraus. Im Bereich **Inner point position** kann festgelegt werden, ob die Positionierung der inneren Punkte 1 und 3 relativ (0..1; 0=Punkt 0/4; 1=Punkt S) oder absolut (Abstand zum Punkt S) erfolgen soll. Durch Rechtsklick auf die Punkte 1 bzw. 3 können die Zahlenwerte der Positionierung geändert werden. Aktiviert man die Option **Show all points** im Bereich **Options**, so werden die unterschiedlichen Positionierungs-Methoden deutlich.

Rechts unten wird der minimale Krümmungsradius der entworfenen Kontur angezeigt.

10.2.2 Line Segments-Querschnitt

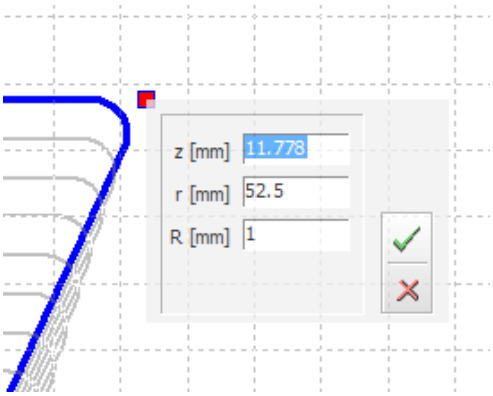
Beim Querschnitt **Line Segments** wird die Form mit Hilfe von Linien-Segmenten beschrieben.



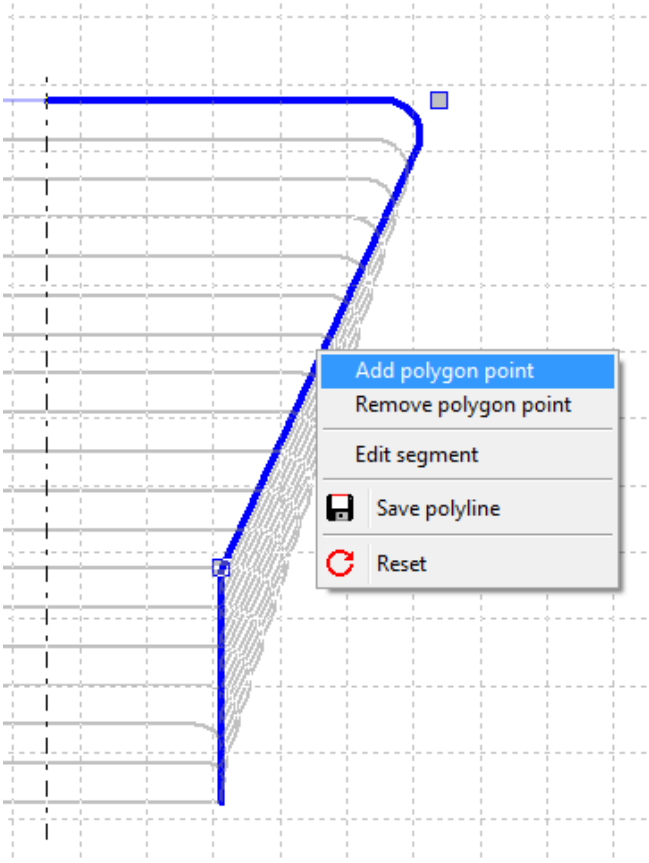
Die halbe Querschnittsform wird initial durch entsprechende Liniensegmente der Trapezform nachempfunden. Die Punkte 1 und 4 stellen dabei die Endpunkte dar und sind unveränderlich.

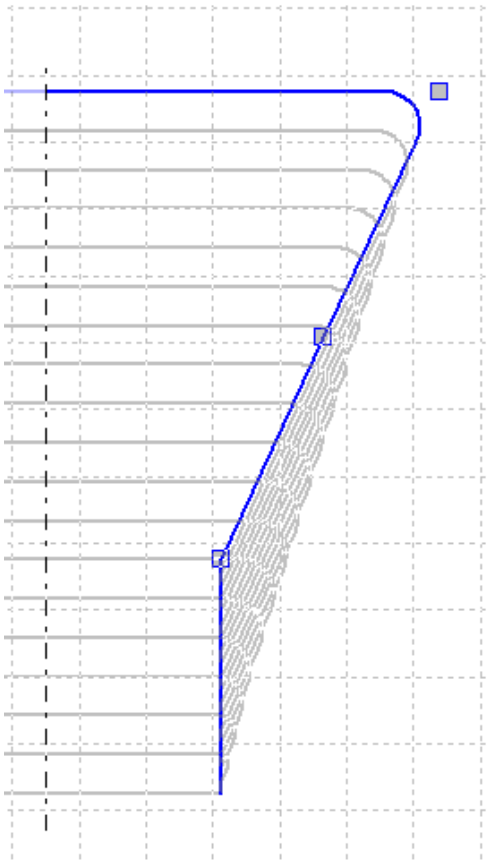
Alle Punkte sind durch Liniensegmente verbunden. Die jeweiligen Koordinaten sowie der Radius für eine Abrundung können im Kontext-Dialog festgelegt werden:

© CFturbo Software & Engineering GmbH



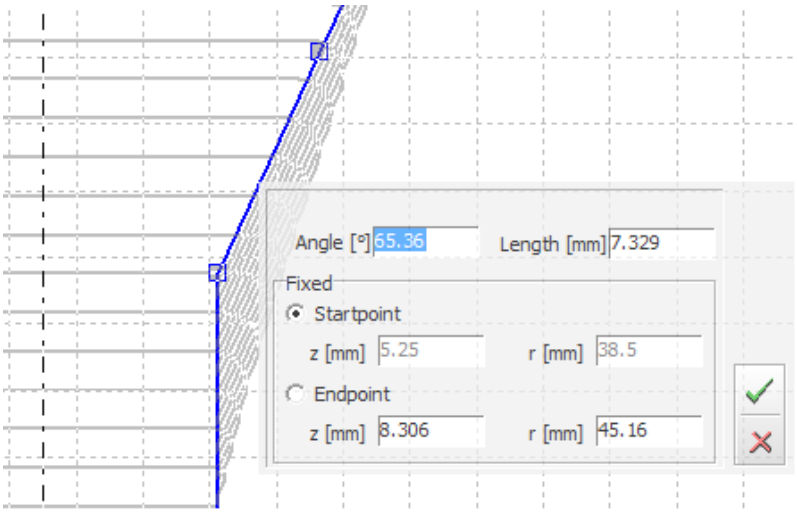
Über das Kontextmenü der Kurve bzw. des Liniensegments können an der jeweiligen Cursor-Position Punkte hinzugefügt und entfernt werden:





Das Menü bietet auch die Möglichkeit, die Werte des jeweiligen Segments anzuzeigen und zu ändern. Es kann entweder der Start- oder Endpunkt geändert werden. In einigen Fällen, wie in Beispiel 1, wäre beim Segment zwischen Punkt 1 und 2 nur der zweite veränderbar, da für den ersten Randbedingungen vorliegen.

© CFturbo Software & Engineering GmbH



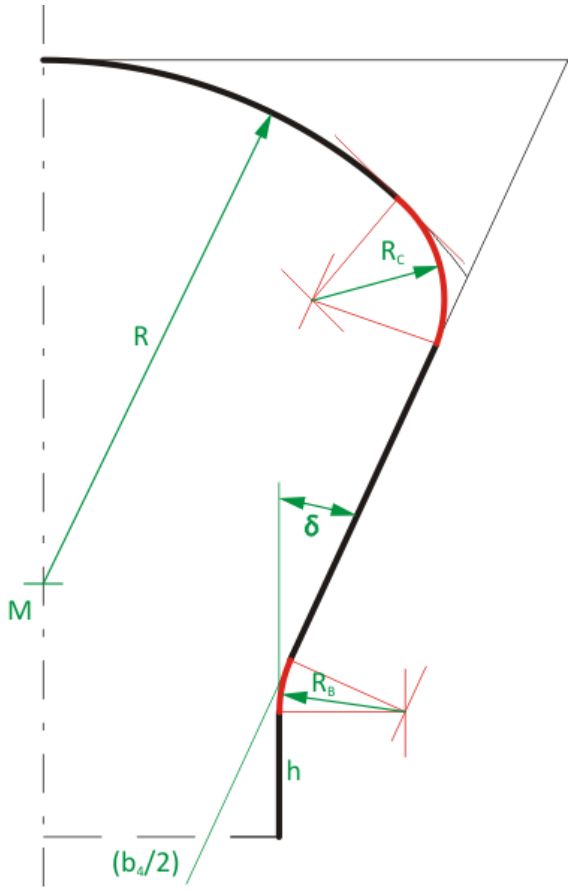
Beim Verschieben der Eckpunkte kann durch Drücken von Tasten auf der Tastatur die Einhaltung folgender Randbedingungen erzwungen werden:

STRG	Punkt bewegt sich auf Kreis um Vorgänger. Der Radius bleibt konstant.
STRG + SHIFT	Punkt bewegt sich auf Kreis um Nachfolger. Der Radius bleibt konstant.
ALT	Punkt bewegt sich auf Gerade zwischen Vorgänger und seiner letzten Position.
ALT + SHIFT	Punkt bewegt sich auf Gerade zwischen seiner letzten Position und Nachfolger.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

10.2.3 Radius based cross section

Die Form des **Radius based**-Querschnittes wird durch Geraden und Kreisbögen beschrieben.



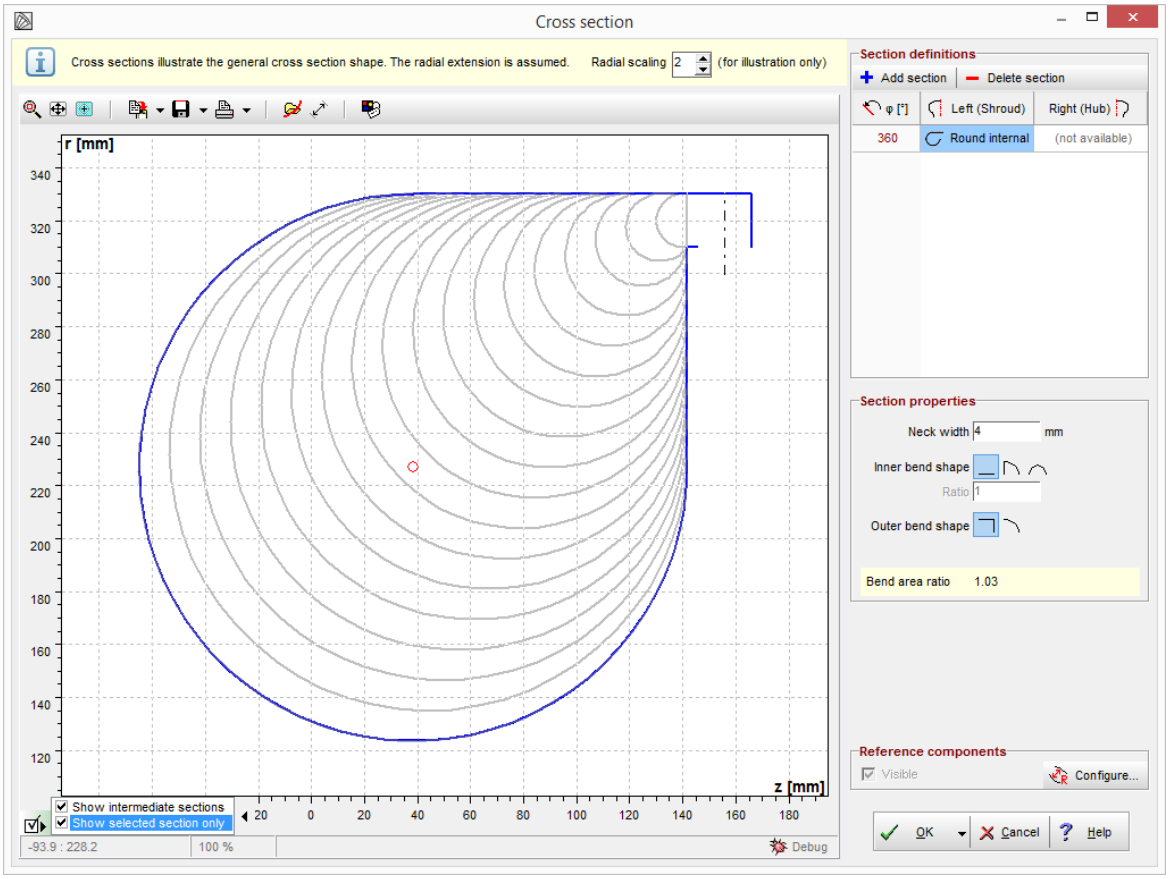
Die Geometrie ist definiert durch folgende Parameter:

base height	h	Höhe des radialen Bereichs
base radius	R_B	Abrundung zwischen radialem Bereich und Öffnungsbereich (Radius kann limitiert sein wegen der Längen des radialen Bereichs und des Öffnungsbereichs)
opening angle	δ	Winkel des Öffnungsbereichs
corner radius	R_C	Abrundung zwischen Öffnungsbereich und Hauptkreisbogen oben (Radius kann limitiert sein wegen Längen des Öffnungsbereichs und des Hauptkreisbogens)
main radius	R	Radius des Hauptkreisbogens oben

© CFturbo Software & Engineering GmbH

10.2.4 Interne Querschnitte

Interne Spiralgehäuse sind in ihrer radialen und axialen Ausdehnung begrenzt (siehe graue Linien in der Grafik).



Der zusätzlich notwendige Krümmer kann durch folgende Parameter beschrieben werden:

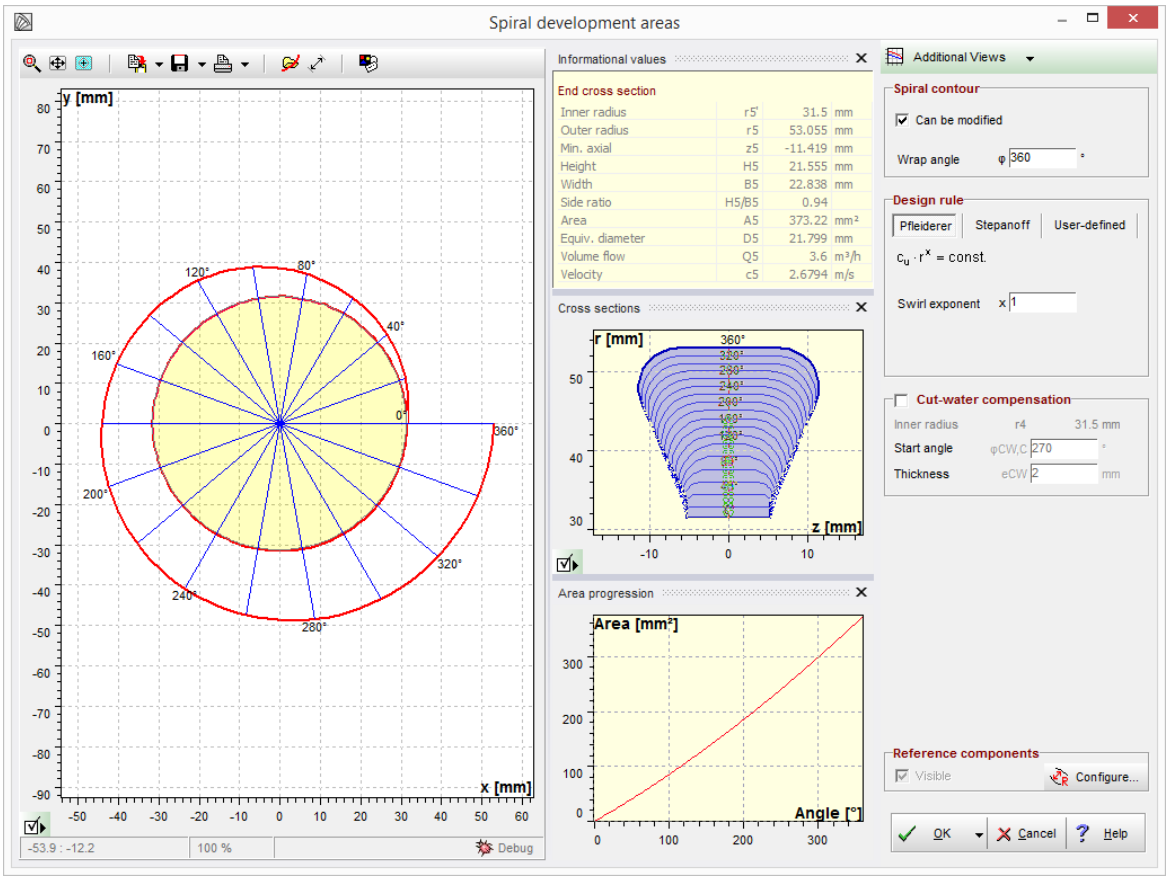
Neck width	Halsbreite, seitlicher Abstand zwischen Spiraleneintritt und eigentlichen Spiralenquerschnitten
Inner bend shape	Form der inneren Krümmerwand
Ratio	Halbachsenverhältnis für Viertelbogen
Outer bend shape	Form der äußeren Krümmerwand
Bend area ratio	Verhältnis zwischen Austritts- und Eintrittsfläche des Krümmers

© CFturbo Software & Engineering GmbH

10.3 Spiralengeometrie

? Volute | Spiral development areas

In diesem Dialog kann die eigentliche Spiralengeometrie festgelegt bzw. berechnet werden.



General

Die Spiralenquerschnitte können manuell durch Betätigen des Schalters **Calculate spiral** oder automatisch berechnet werden, wenn das Kontrollfeld **Automatic** selektiert ist.

- Bei der manuellen Berechnung ist die radiale Erstreckung der derzeitig entworfenen Querschnitte (rote Kontur-Kurve im Hauptdiagramm links) fixiert.
  Alle Änderungen am Eintrittsquerschnitt (Inlet definition 393) oder am Querschnitts-Typ (Cross section 399) führen zu einer Aktualisierung der Querschnitte, wobei jedoch die radiale Erstreckung jedes Querschnittes konstant bleibt.
  Alle Änderungen in diesem Dialog bleiben unberücksichtigt, solange nicht der Schalter **Calculate spiral** betätigt wird.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

- Im Automatik-Modus werden die Querschnitte vollständig neu berechnet, sobald Änderungen am Eintrittsquerschnitt (Inlet definition 393) oder am Querschnitts-Typ (Cross section 399) vorgenommen werden.
  Außerdem führen alle Änderungen innerhalb dieses Dialoges unmittelbar zu einer vollständigen Neuberechnung aller Querschnitte.

Außerdem kann der Umschlingungswinkel (**Wrap angle**) festgelegt werden - Standard ist 360°.

Design rule

Im Bereich **Design rule** wird die Auslegungsvorschrift für die Spiralenberechnung festgelegt, wobei 3 Möglichkeiten zur Auswahl stehen: **Pfleiderer**, **Stepanoff** oder **User-defined**.

➔ Details 414 **Design Rule** 414

Splitter of Double Volute

Für Doppel-Spiralen könne zusätzliche Eigenschaften für Spirale und Splitter angegeben werden.

- Der **start angle φSpl** ist der Winkel an dem der Splitter theoretisch beginnt. Diese Größe fixiert damit die Splitterkontur.
- Der **angular offset ΔφSpl** ist die Winkel-Differenz zum praktische Splitterbeginn. Dieser Wert kann benutzt werden um einen radialen Offset zu erzeugen.
- Die **thickness eSpl** definiert den radialen Abstand zwischen innerer und äußerer Splitterkontur.
- Die **compensation φSpl,C** kann analog zur cut-water compensation für den Splitter angegeben werden.
- Der **fillet radius** bestimmt den radialen Ecken-Radius zwischen Spiral- und Splitterfläche.

Cut-water compensation

Im Bereich **Cut-water compensation** werden einige Parameter für die Spiralenzunge festgelegt.

➔ Details Cut-water compensation 415

Circular arc approximation

Für Spiralen mit rechteckigen oder trapezoidalen Querschnitten kann eine Kreisbogen-Approximation durchgeführt werden. Die Bögen werden dabei hinsichtlich der minimalen Maximal-Abweichung zur Ausgangskontur optimiert, welche durch die Design Rule festgelegt ist. Informationen über die resultierenden Kreisbögen (z.B. Mittelpunke, Radien und Winkel) werden in den "informational

© CFturbo Software & Engineering GmbH

values" angezeigt. Darüber hinaus sind die Informationen als Quickinfo im Diagram sichtbar.

Display options

Im Bereich **Display options** können Einstellungen vorgenommen werden, die nur Auswirkungen auf die grafischen Darstellungen haben:

Show – bezieht sich auf die Darstellung der Spiralen-Kontur	
Section lines	radiale Winkellinien
Cut-water compensation	Zungenkorrektur als vergrößerter Innenradius
Circle segments	Kreisbögen der Kontur-Approximation
Show in cross section – bezieht sich auf Querschnitts-Darstellung	
Cut-water section	Zungenquerschnitt
Equivalent diameter (outlet)	gleichwertiger Durchmesser (Strichlinie)
Filled cross sections	ausgefüllte Querschnitte

Mögliche Warnungen

Problem	Lösungsmöglichkeiten
It's not possible to calculate spiral contour exactly. Please check "Volute/ Inlet definition" and geometry.	
Spiralenquerschnitte können nicht berechnet werden wegen ungewöhnlicher Zuströmrichtung oder Spiralen-Querschnittsform.	Ein zu enge Spiralenquerschnittsform kann ein unrealistisch hohes Höhen-Breiten-Verhältnis zur Folge haben. Eine andere Querschnittsform könnte vorteilhaft sein.
Volute end cross section is not reasonable. Check "Volute/ Inlet definition" and geometry.	
Die Eigenschaften des Spiralen-Endquerschnitts sind nicht sinnvoll, z.B. das Verhältnis H5/B5 ist zu klein oder zu groß.	Die Eigenschaften des Endquerschnitts sollten überprüft werden.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Problem	Lösungsmöglichkeiten
	Siehe auch die Hinweise zum Fehler "It's not possible to calculate spiral contour exactly.".
Spiral contour calculation failed due to invalid inflow conditions. 'Check "Volute/ Inlet definition".	
Spiralenquerschnitte können nicht berechnet werden wegen ungültiger Zuströmrichtung.	Der Strömungswinkel am Spiralen-Eintritt sollte klein sein (<~45°, 90° ist ungültig). Dies kann im Dialog "Volute/ Inlet definition" überprüft werden, Seite "Volute" rechts unter "Values": Flow angle α. Der Eintritts-Stromungswinkel wird durch die Vorgänger-Komponente festgelegt. Wenn diese nicht existiert, wird die Strömungsrichtung durch "Global setup/ Inflow" definiert.
Angle of last cross section definition is higher than spiral wrap angle.	
Ein oder mehrere Querschnitte sind an Positionen φ definiert, die großer als der Umschlingungswinkel der Spirale (wrap angle φ) sind.	Anpassung der Umfangsposition der Querschnitte ("Volute/ Cross section") oder des Umschlingungswinkels der Spirale ("Volute/ Spiral areas").
Cross sections are updated automatically. Therefore geometry modifications are possible.	
Die Ausdehnung der Spiralenquerschnitte werden automatisch aktualisiert, sobald Änderungen am Eintritt oder an den Eigenschaften der Spirale vorgenommen werden.	Um die Ausdehnung der Spiralenquerschnitte zu fixieren kann die automatische Berechnung ("Automatic") rechts oben im Dialog "Volute/ Spiral areas") deaktiviert werden. In diesem Fall muss die Neuberechnung der Spiralengeomtrie bei Bedarf manuell erfolgen.
Cross sections are not updated automatically. Therefore geometry modifications are possible.	
Die Ausdehnung der Spiralenquerschnitte werden nicht automatisch aktualisiert, wenn Änderungen am Eintritt oder an den Eigenschaften der Spirale vorgenommen werden.	Um sicherzustellen, dass alle Änderungen von Input-Parametern berücksichtigt werden, kann die automatische Berechnung ("Automatic") aktiviert werden.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

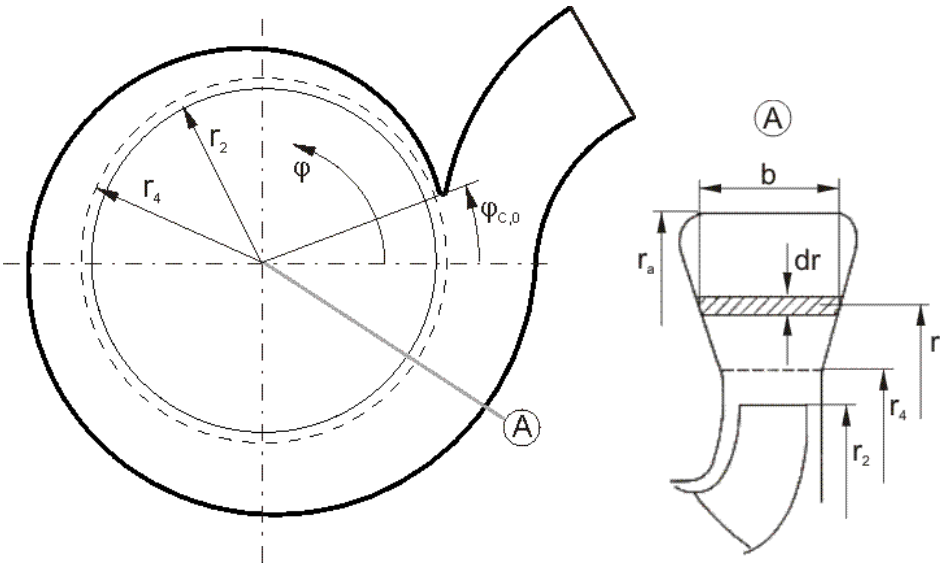
10.3.1 Auslegungsvorschrift (Design rule)

Der Durchsatz durch eine Querschnittsfläche A des Umfangswinkels φ berechnet sich allgemein zu:

$$Q_\varphi = \int c_u dA = \int_{r_4}^{r_a(\varphi)} c_u b(r) dr$$

Mit $Q_\varphi = Q_i \cdot \varphi/(2\pi)$ ergibt sich daraus eine Gleichung für den Umfangswinkel φ in Abhängigkeit vom Außenradius r_a:

$$\varphi = \frac{2\pi}{Q_i} \int_{r_4}^{r_a(\varphi)} c_u b(r) dr$$



Die Funktion b(r) ist geometrisch entsprechend der Querschnittsform festgelegt. Die Geschwindigkeit c_u wird entsprechend der Auslegungsvorschrift gewählt. Dazu stehen im Bereich **Design rule** 2 alternative Möglichkeiten zur Verfügung:

1. Pfleiderer

Aus Erfahrung werden die Verluste in etwa minimal, wenn das Spiralgehäuse so dimensioniert wird, dass das Fluid nach dem Drallsatz strömt. Die Querschnittsflächen werden also nach dem Drallsatz ausgelegt, d.h. der Drall bleibt nach dem Austritt aus dem Laufrad konstant. Zusätzlich kann noch ein Drallexponent x gewählt werden, so dass die Vorschrift $c_u r^x$ = konst. gilt. Für x=1 gilt konstanter Drall, für den Extremwert x=0 wird die Umfangskomponente der Absolutgeschwindigkeit cu am Laufradaustritt konstant gehalten.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Das Integral ist für einfache Querschnittsformen (Rechteck, Trapez, Kreis) geschlossen lösbar, für beliebige Querschnitte kann es numerisch gelöst werden.

2. Stepanoff

Alternativ kann es günstig sein, die Spirale mit konstanter Geschwindigkeit in allen Querschnitten über dem Umfang auszulegen. Nach Stepanoff kann diese konstante Geschwindigkeit empirisch ermittelt werden: $c_u = k_S\sqrt{2gH}$. Die Konstante k_s kann in Abhängigkeit von der spezifischen Drehzahl n_q bestimmt werden (siehe Approximationsfunktionen 135).

$$\varphi = \frac{2\pi k_S\sqrt{2gH}}{Q_i}\int_{r_4}^{r_a(\varphi)} b(r)\,dr$$

3. User-defined

Im Gegensatz zu 1. und 2. wird hier der Geometrieverlauf direkt vorgegeben. Dazu wird der Endquerschnitt durch Eingabe des Radius oder der Querschnittsfläche festgelegt und ein beliebiger Radien- bzw. Flächenverlauf (**Set progression**) vorgegeben.

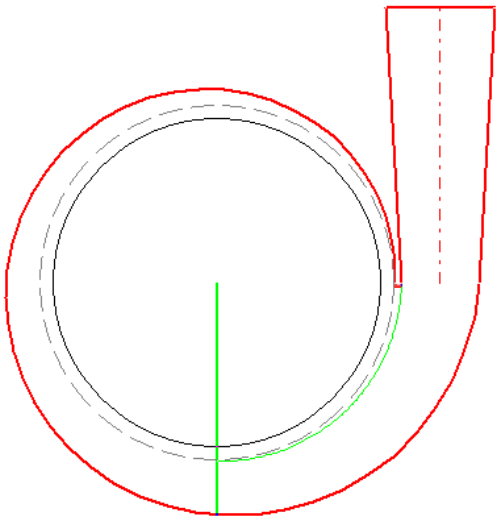
10.3.2 Zungenkorrektur (Cut-water compensation)

Eine Spiralenzunge kann nur für externe Gehäuse entworfen werden. Bei internen Spiralen entsteht die Zunge durch die Durchdringung von Spirale und Diffusor.

Im Bereich **Cut-water** können initiale Parameter der Spiralenzunge festgelegt werden:

Inner radius r_4	informativ, siehe Zuströmung 393 r_4 stellt den Eintrittsradius der Spirale bzw. den Austrittsradius des Radialdiffusors dar
Thickness e	Dicke der Spiralenzunge am Spiralenbeginn (für Zungenkorrektur)
Radius compensation φ_C	Winkel, ab dem die Zungenkorrektur beginnt (Standard: 270°)

© CFturbo Software & Engineering GmbH



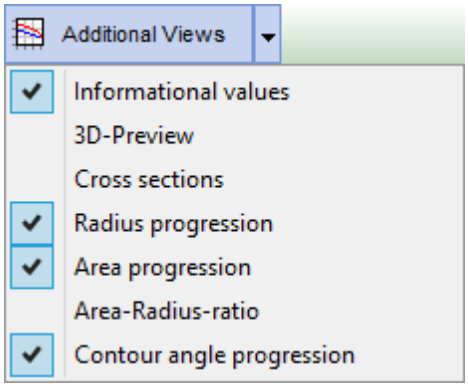
Die Spiralenzunge stellt eine Störung für die Strömung dar, da der Strömungsquerschnitt durch die Zungendicke schlagartig eingeengt wird.

Um diesen negativen Einfluss abzuschwächen, kann eine Zungenkorrektur vorgenommen werden. Dazu wird ab dem Winkel φ_C angenommen, dass sich der innere Radius r_4 linear bis auf den Wert r_4+e am Spiralenendquerschnitt erhöht (grüne Kurve). Dadurch entstehen in diesem Bereich größere Spiralenquerschnitte, so dass die Einengung durch die Spiralenzunge nicht so sehr ins Gewicht fällt.

Durch Betätigen des Schalters **Default** können die Standardwerte für die Spiralenzunge wiederhergestellt werden.

10.3.3 Additional views

Die folgenden Informationen können im Spiralen-Dialog dargestellt werden, indem das Menü "Additional views" benutzt wird:



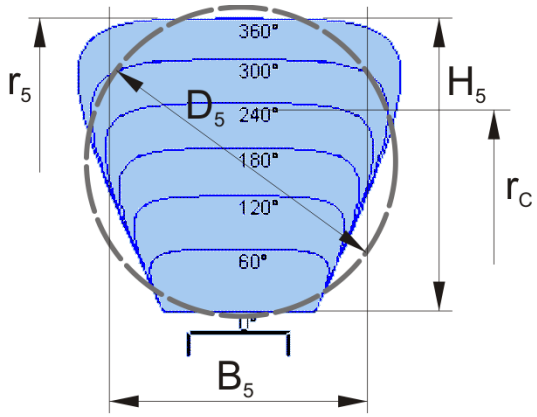
3D-Preview

3D-Modell 163 der derzeit entworfenen Spiralenquerschnitte.

Informational values

Es werden einige informative Größen zum Endquerschnitt (**End cross section**) dargestellt:

© CFturbo Software & Engineering GmbH



Radius	r_5
Höhe	H_5
Breite	B_5
Seitenverhältnis	H_5/B_5
Equivalenter Durchmesser	D_5
Endquerschnitt	A_5
Volumenstrom	Q_5
Average velocity	c_5
Statischer Druck	p_5
Dichte	ρ_5
Temperatur	T_5
Mach-Zahl	Ma_5

Cross sections

Spiralenquerschnitte (z-r)

Radius progression

Radienverlauf (z-r)

Area progression

Flachenverlauf (φ-A)

Area-radius-ratio

Flächen/Schwerpunktradius (r_C)-Verhaltnis (φ-A/R)

Contour angle progression

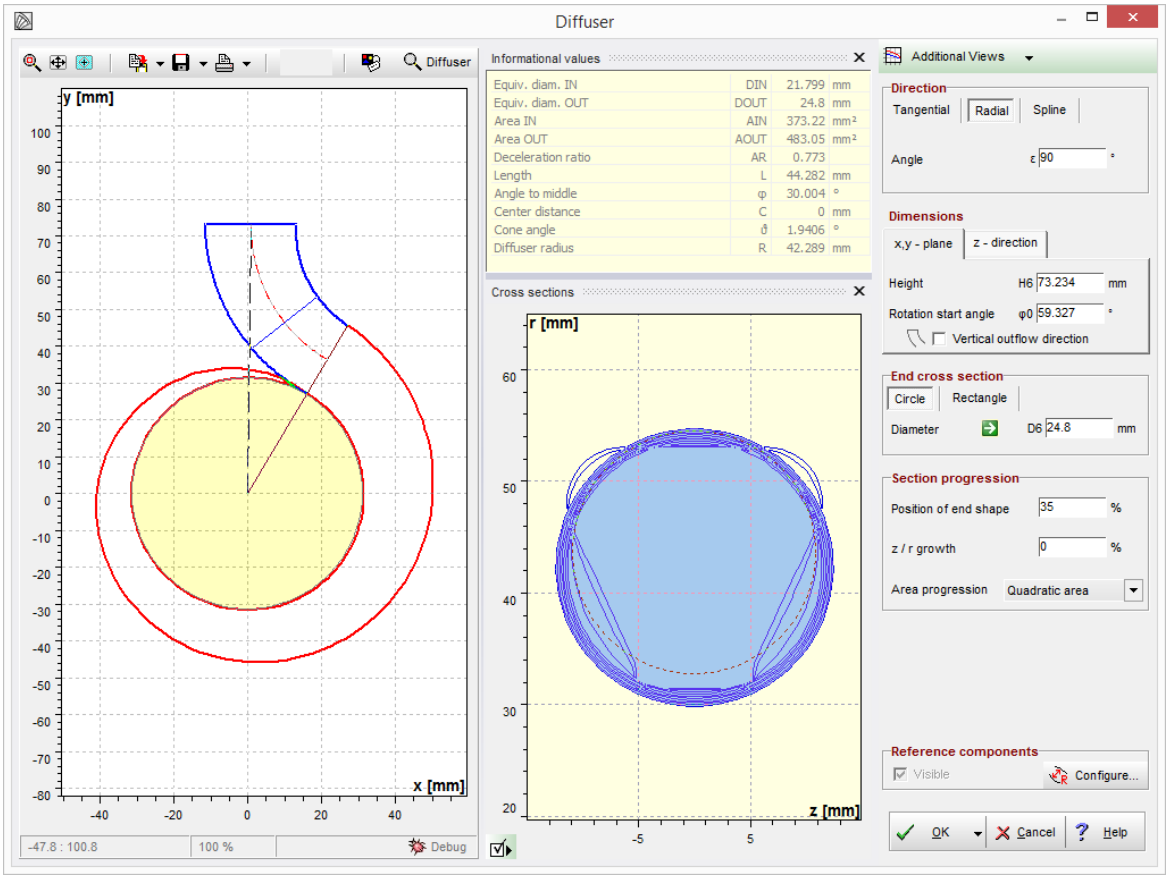
Winkel zwischen außerer Spiralkontur and Umfangsrichtung (φ-α). Aufgrund der differentiellen Charakteristik ist die Stetigkeit dieses Verlaufs um einen Grad reduziert.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

10.4 Diffusor

? Volute | Diffusor

In diesem Dialog wird der Diffusor am Spiralen-Austritt entworfen.

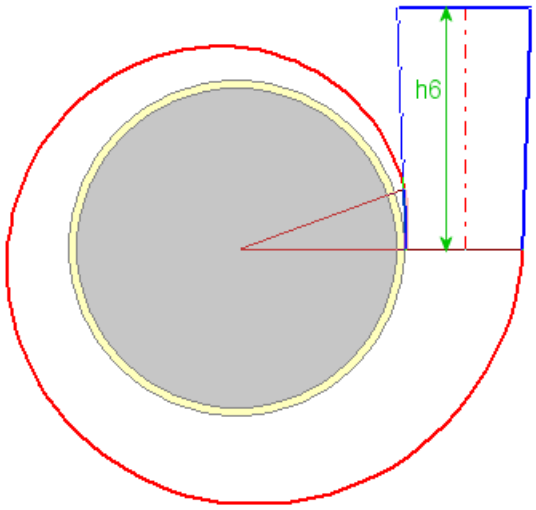


Direction

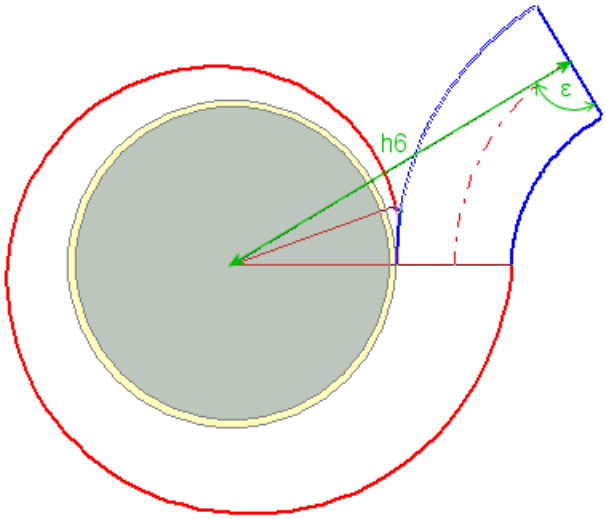
Prinzipiell können 3 Grundformen unterschieden werden:

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Tangentialer Diffusor

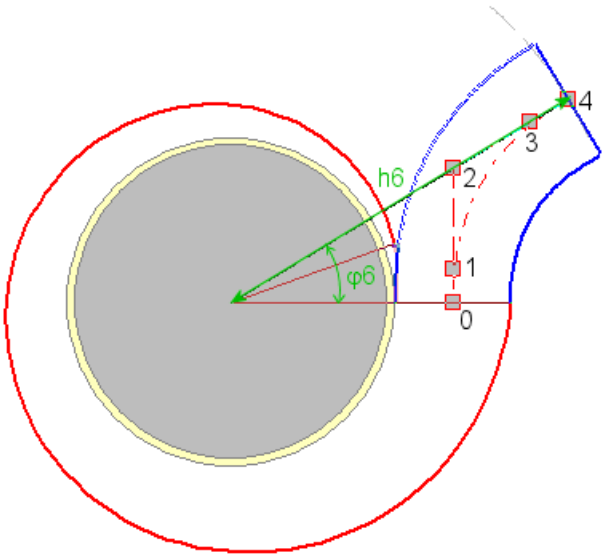


Radialer Diffusor



© CFturbo Software & Engineering GmbH

Spline-Diffusor



Der tangentiale Diffusor ist einfacher herstellbar, der radiale hat den Vorteil der Minimierung der Tangentialkräfte. Der Spline-Diffusor ähnelt dem radialen, weist jedoch eine höhere Flexibilität auf.

Tangential diffuser

Beim Tangential-Diffusor kann die Exzentrizität festgelegt werden:

Die rechte Seite ist parallel zur Mittellinie (senkrecht zum letzten Spiralen-Querschnitt) Der Diffusor öffnet nur nach links.

Der Diffusor öffnet zu beiden Seiten (Standard).

Die linke Seite ist parallel zur Mittellinie (senkrecht zum letzten Spiralen-Querschnitt) Der Diffusor öffnet nur nach rechts.

Die Exzentrizität kann manuell festgelegt werden.

Radial diffuser

Beim Radialdiffusor kann der Winkel ε zwischen Druckstutzen und Verbindungslinie Laufrad-Mittelpunkt ↔ Druckstutzen-Mittelpunkt gewählt werden.

Spline diffuser

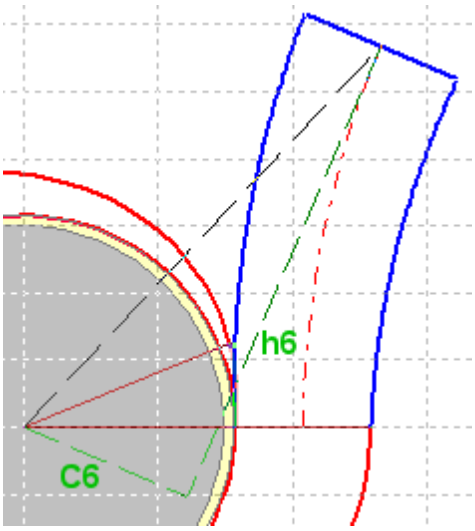
Für den Spline-Diffusor wird der Winkel φ_6 zwischen Verbindungslinie Laufrad-Mittelpunkt ↔ Druckstutzen-Mittelpunkt und dem Diffusorbeginn festgelegt. Die Punkte 0 und 4 stellen Start- und Endpunkt der Mittellinie auf dem Start- bzw. Endquerschnitt dar, Punkt 2 ist festgelegt durch den Schnittpunkt der jeweils senkrecht auf diesen Querschnitten stehenden Linien. Die Lage der Punkte 1 und 3 bestimmt den Kurvenverlauf der Mittellinie.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Durch Betätigen des Schalters **Default** rechts oben können die Standardwerte für die Diffusorgeometrie wiederhergestellt werden.

Dimensions

Die Ausdehnung des Diffusors wird im Bereich **Dimensions** festgelegt. Dabei können sowohl Parameter in der x,y-Ebene (**x,y-plane**) festgelegt werden, als auch eine Neigung des Diffusors in Achsrichtung (**z-direction**) definiert werden.



Bei allen Diffusorformen wird die Länge durch die Diffusorhöhe $\mathbf{h_6}$ festgelegt, die den Abstand zwischen dem Diffusoraustritt und einer parallel dazu durch den Mittelpunkt verlaufenden Linie angibt.

Zur Information wird sowohl grafisch als auch zahlenmäßig (Bereich **Information**) der Abstand $\mathbf{C_6}$ zwischen der h_6-Linie und dem Mittelpunkt angegeben.

Zusätzlich wird die Startposition des Diffusors als Winkel φ_0 angegeben, wobei 0° der horizontal rechts liegenden Position entspricht. Durch diese Größe kann das gesamte Spiralgehäuse gedreht werden. Durch Betätigen des Schalters **Vertical outflow direction** wird das Spiralgehäuse soweit gedreht, dass der Druckstutzen senkrecht nach oben gerichtet ist.

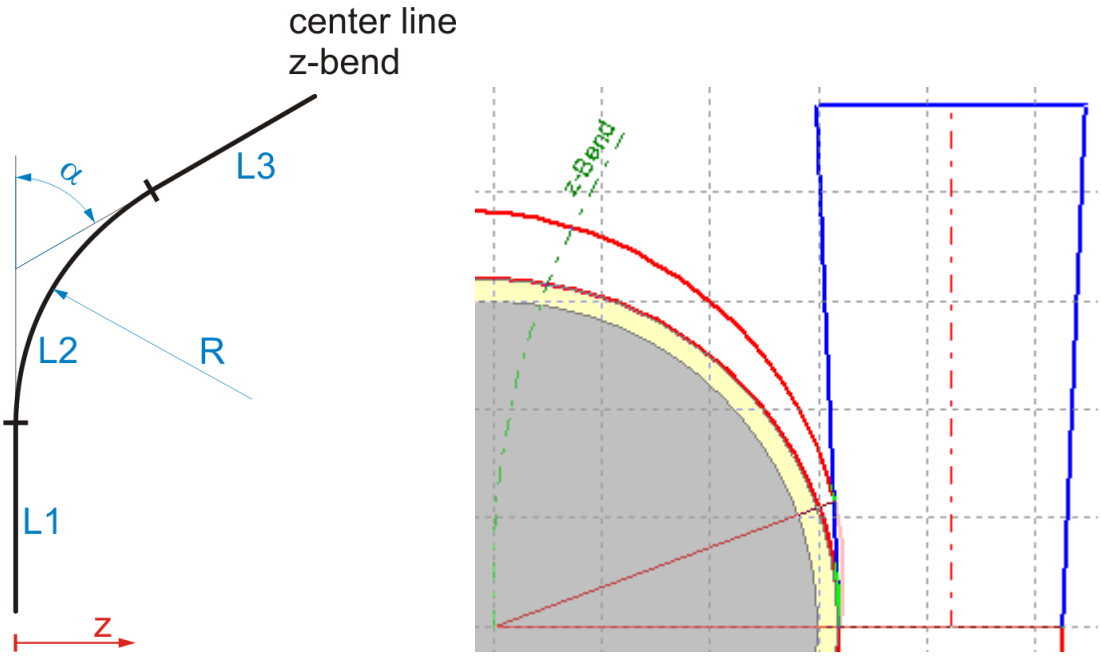
Die Krümmung des Diffusors in z-Richtung (**z-direction**) wird durch die in der Skizze dargestellten Parameter beschrieben.

Es existieren 2 gerade Abschnitte 1, 3 und ein kreisbogenförmiger Abschnitt 2. Die Längen $\mathbf{L_1}$, $\mathbf{L_2}$ und $\mathbf{L_3}$ werden prozentual festgelegt.

Die Krümmung wird durch den Radius **R** bestimmt, die Richtung durch den Winkel **α**.

Die z-Krümmung wird im Diagramm durch eine grüne Mittellinie veranschaulicht.

© CFturbo Software & Engineering GmbH



End cross-section

Der Endquerschnitt des Diffusors kann entweder rund oder rechteckig sein. Der Durchmesser **D_6** kann direkt vorgegeben werden oder aus Normreihen ausgewählt werden. Bei rechteckigem Endquerschnitt können Höhe **H_6** und Breite **B_6** gewählt werden.

Section progression

Die **position of end shape** gibt die prozentuale Position des Diffusors an, an dem der Endquerschnitts-Typ erreicht wird. (default = 100%). Um bei dem Wechsel verschiedene Querschnitts-Flächen zu erzeugen ist eine Skalierung der Querschnitte notwendig. Anstatt nur gleichförmig zu Skalieren, besteht die Möglichkeit ein Skalierungsverhältnis (**z/r growth**) anzugeben.

Die **area progression** hängt beeinflusst die Skalierung der Diffuser-Querschnitte.

Linear blending	Die Querschnitte werden nicht skaliert, was in eine quadratische Entwicklung der Flächeninhalt resultiert.
Linear area	Die Querschnitt werden so skaliert, dass ein linearer Anstieg des Flächeninhalts resultiert.
Quadratic area	Die Querschnitt werden so skaliert, dass zwischen Diffuser-Inlet und "end shape position" ein quadratischer Anstieg des Flächeninhalts entsteht. Der

© CFturbo Software & Engineering GmbH

	Verlauf zum Diffuser-Outlet ist wieder linear.
Custom area	Der Verlauf des Querschnittsflächeninhalts über den Diffuser ist durch eine Beziérkurve bestimmt.

Splitter of Double Volute

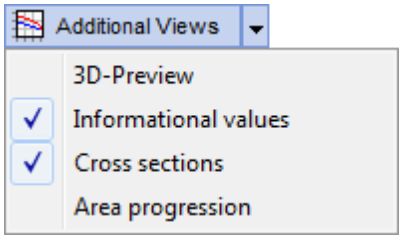
Die **position of splitter end** gibt die relative Länge des Splitter im Diffuser an.

Display options

Rechts unten im Bereich **Display options** kann die grafische Darstellung der Diffusors beeinflusst werden.

10.4.1 Additional views

The following information can be displayed in the diffuserl dialog using the "Additional views" button:



3D-Preview

3D-Modell 163 of the currently designed diffuser geometry.

Informational values

Zur Information werden folgende Werte angezeigt:

Equivalent diameter DIN	Durchmesser des flächengleichen Kreises am Diffusoreintritt
Equivalent diameter DOUT	Durchmesser des flächengleichen Kreises am

© CFturbo Software & Engineering GmbH

	Diffusoraustritt
Area AIN	Flächeninhalt am Diffusoreintritt
Area AOUT	Flächeninhalt am Diffusoraustritt
Deceleration ratio AR Verzögerungsverhältnis	$A_R = D_5^2 / D_6^2$
Length L	Länge des Diffusors
Angle to middle φ	Winkel zwischen Verbindungslinie Laufrad-Mittelpunkt ↔ Druckstutzen-Mittelpunkt und dem Diffusorbeginn
Center distance C	Abstand zwischen der h_6-Linie und dem Mittelpunkt
Cone angle ϑ	Erweiterungswinkel von D5 zu D6 über der Länge L
Diffusor radius R	Radius der Diffusor-Mittelllinie (nur für Radialdiffusor)

Cross section

Diffusor-Querschnitte (z-r)

Area progression

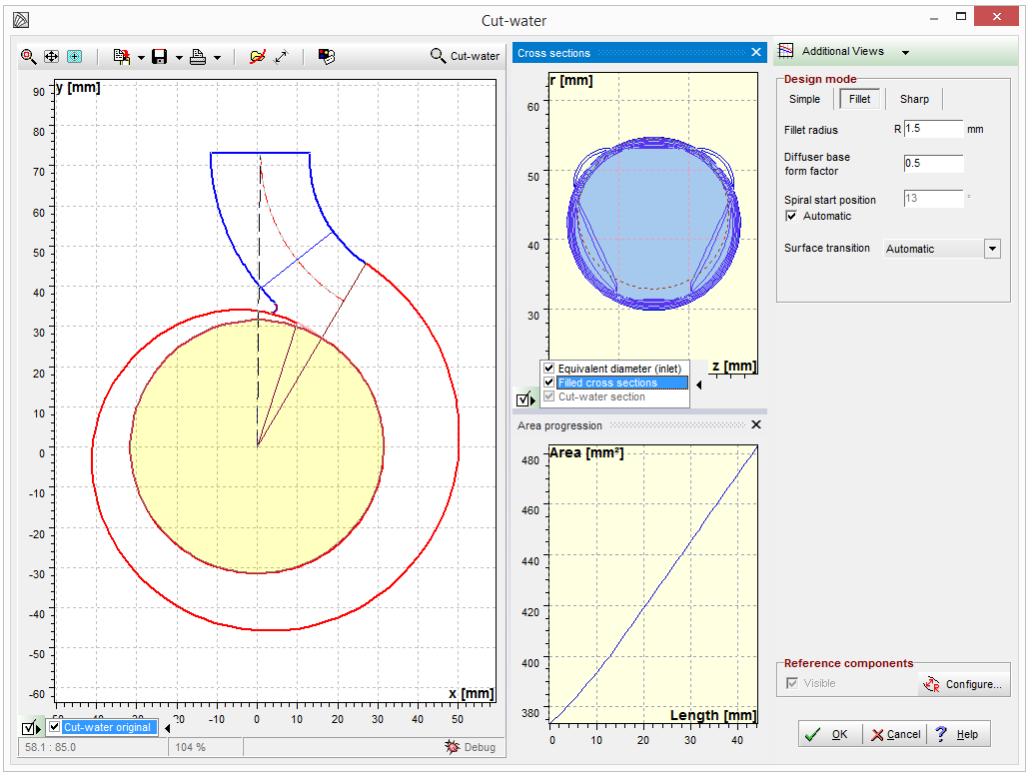
Flächenverlauf (l-A)

10.5 Spiralenzunge

? Volute | Cut-water

In diesem Dialog wird die Spiralenzunge gestaltet.

© CFturbo Software & Engineering GmbH



Generell kann die Zunge auf drei unterschiedliche Arten entworfen werden: **Simple** 428, **Fillet** 430 oder **Sharp** 433.

Splitter of Double volute

Das **leading/trailing edge axis ratio** definiert das Hauptachsen-Verhältnis der Ellipse, welche die Vorder- und Hinterkante des Spiral-Splitter verrundet.

Einschränkungen

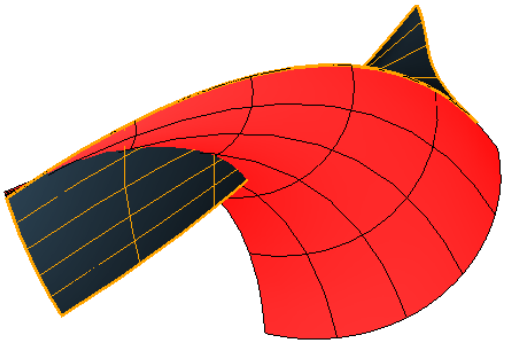
Allgemein	Der Umschlingungswinkel (wrap angle) 410 muss mindestens 330° betragen.
Simple	Für eckige Spiralen-Querschnitts-Geometrien ist der Parameter **Side position** auf die Eckenposition fixiert und kann nicht individuell geändert werden.
	Die Verrundung der Zungen-Kanten (**Round edges**) ist nur möglich, wenn die Kantenposition (**Side position**) größer als die Position der maximalen Krümmung ist und keine radiale Verschiebung des Diffusors (**Radial offset**) vorliegt.
	Die radiale Verschiebung des Diffusors (**Radial offset**) ist nur für Spiralen mit

© CFturbo Software & Engineering GmbH

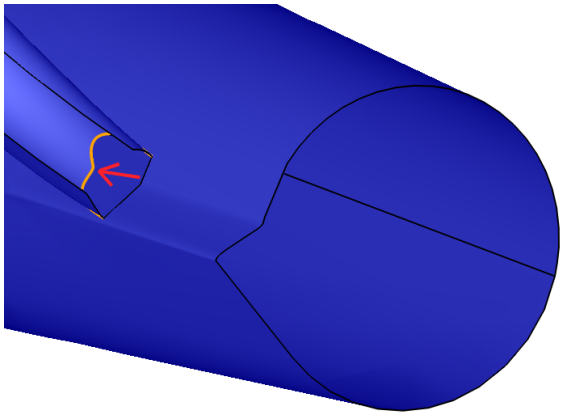
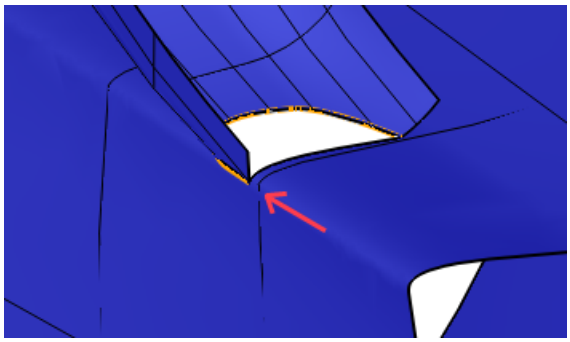
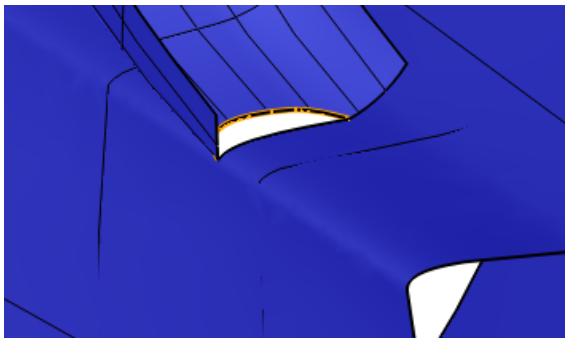
	einem Umschlingungswinkel von 360° möglich, die sich nach außen entwickeln.
Fillet	Für eckige Querschnitts-Geometrien (entweder Spirale oder Diffusor) ist keine Fillet-Spiralenzunge möglich.
	Eine Durchdringung von Spiralen- und Diffusor-Geometrie ist notwendig zur Erzeugung einer Fillet-Spiralenzunge.
	Fillet-Spiralenzungen sind meist nicht möglich, wenn sich die Spirale anfangs sehr flach entwickelt (s. Spirale 410) und ein tangentialer Diffusor mit großem Endquerschnitt gewählt wird.
	Für asymmetrische Spiralenquerschnitte ist nur ein nicht tangentialer Flächen-Übergang (**Non-tangential surface transition**) verfügbar.
Sharp	Für eckige Querschnitts-Geometrien (entweder Spirale oder Diffusor) ist keine Sharp-Spiralenzunge möglich.
	Eine Durchdringung von Spiralen- und Diffusor-Geometrie ist notwendig zur Erzeugung einer Sharp-Spiralenzunge.

Für interne Spiralen (**internal volutes**) ist der Entwurf einer Spiralenzunge nicht möglich.

Mögliche Warnungen

Problem	Lösungsmöglichkeiten
Cutwater is self-intersecting.	
Cut-water Flächen schneiden sich gegenseitig. 	Das Problem kann verschiedene Ursachen haben. Deshalb sollte die Gestaltung von Spiralengeometrie, Diffusor oder Spiralenzunge geändert werden. Z.B.: einen zu Beginn flachen Querschnittsflächenverlauf der Spiralengeometrie 410 definieren, oder **Angular position** / **Radial offset** der Spiralenzunge verändern.
3D-Error: Could not create bounded surface for Cut-water.Patch	

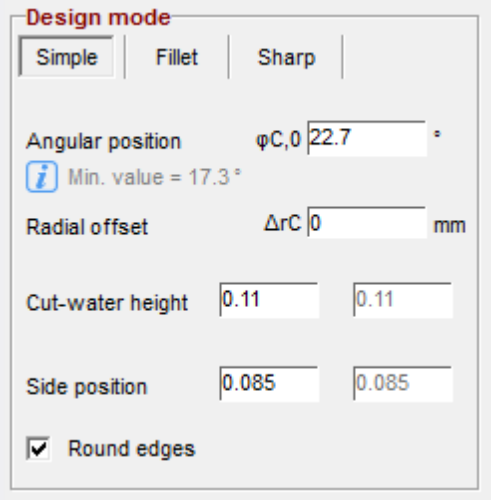
© CFturbo Software & Engineering GmbH

Problem	Lösungsmöglichkeiten
Parameter **Side position** ungünstig	**Side position** sollte nicht zu klein sein, wenn **Round edges** gewählt wurde
3D-Error: Could not create fillet for Cut-water! Possibly, the fillet radius is too large.	
[bei asymmetrischen Spiralen] Fillet kann nicht erzeugt werden, weil die Schnittkurve von Spirale und Diffusor nicht glatt ist. 	Position of end shape 422 im Diffusor-Dialog so ändern, dass eine glatte Schnittkurve entsteht.
[bei asymmetrischen Spiralen] Fillet kann nicht erzeugt werden, weil die Schnittkurve von Spirale und Diffusor tangential zur scharfen Diffusor-Kante liegt. 	**Spiral start position** anpassen 

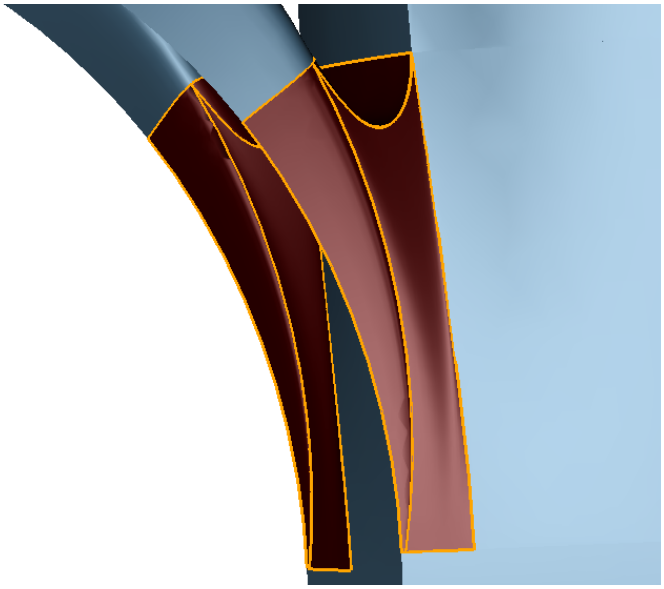
© CFturbo Software & Engineering GmbH

10.5.1 Simple

Bei der Simple-Spiralenzunge wird eine Abrundung zwischen eigentlicher Spirale und Diffusor vorgenommen.

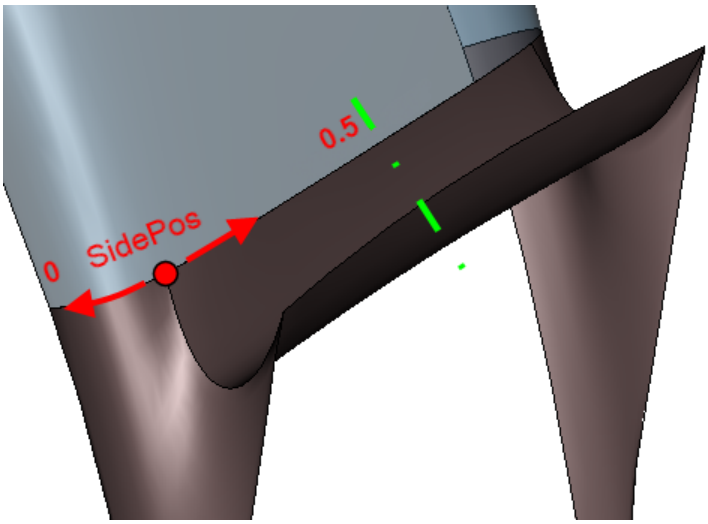


$\varphi_{C,0}$ gibt die Winkelposition (**Angular position**) der Zunge an (0°=Spiralenbeginn). Darunter wird die mindestens notwendige Winkelposition angegeben, um eine Überschneidung von eigentlicher Spirale und Diffusor zu vermeiden.



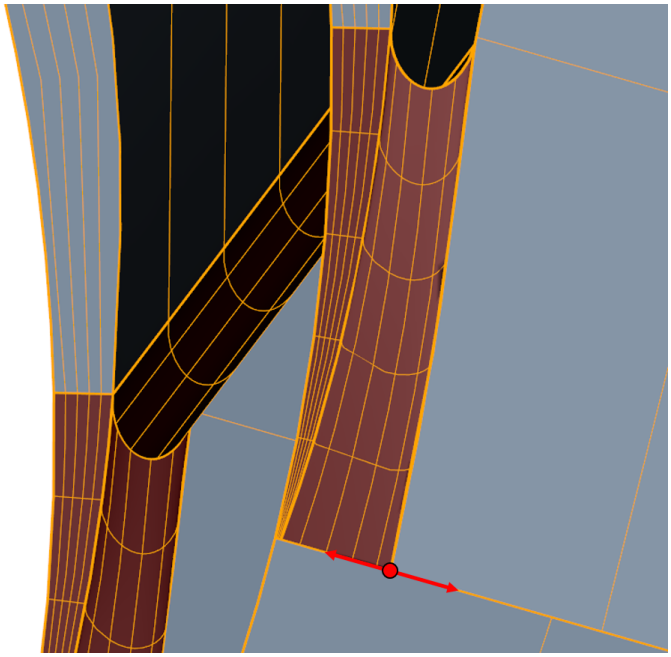
Zusätzlich kann der Diffusor radial um den Wert Δr_C nach außen verschoben werden (**Radial offset**), um die Durchdringung von Spirale und Diffusor zu verringern. Diese radiale Verschiebung entspricht der Zungendicke.

© CFturbo Software & Engineering GmbH



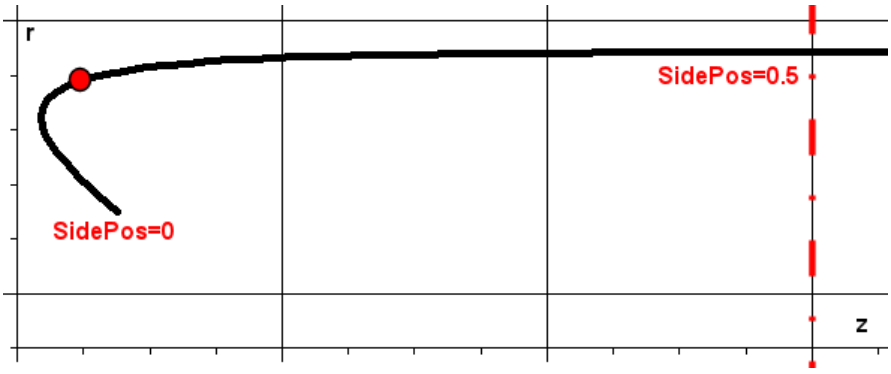
Der Parameter **Side position** definiert den Übergang von der mittleren Verrundungsfläche zu den Seitenflächen. Bei asymmetrischen Spiralenquerschnitten können zwei unabhängige Werte für die linke und rechte Seite definiert werden.

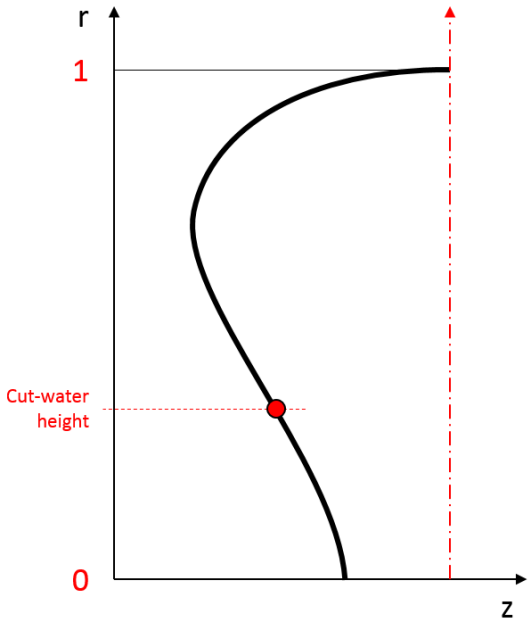
Die hier entstehende Kante kann optional abgerundet werden (**Round edges**).



Die **cut-water height** hat einen ähnlichen Effekt wie die "side position" und definiert den Übergangspunkt der Spiralzunge auf dem letzten Spiralquerschnitt.

© CFturbo Software & Engineering GmbH



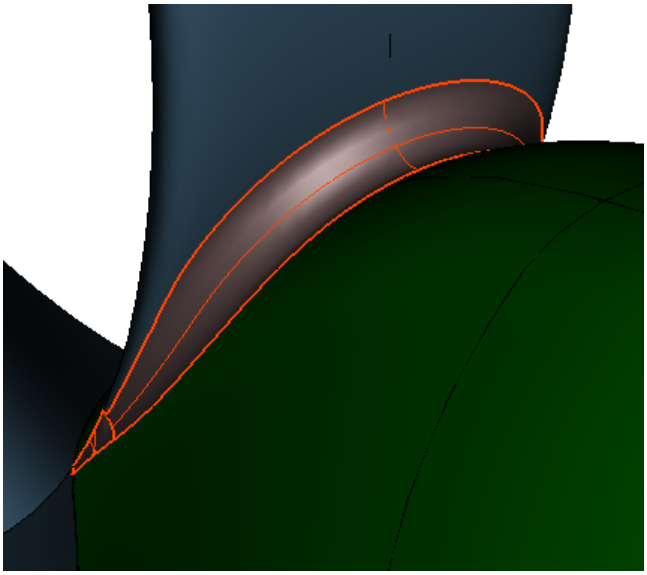


Die Spiralenzunge selber wird durch eine Bezierkurve 4. Grades dargestellt, dessen Form nach entsprechender Vergrößerung (**Zoom Cut-water**) interaktiv verändert werden kann.

10.5.2 Fillet

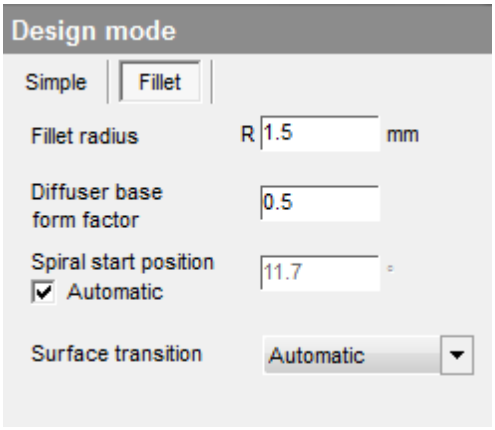
Bei der Fillet-Spiralenzunge erfolgt eine Verschneidung von Spirale und Diffusor und eine Verrundung an der entstehenden Schnittkurve.

© CFturbo Software & Engineering GmbH



Voraussetzungen:

- Der Umschlingungswinkel (wrap angle)[410] muss groß genug sein, so dass sich Spirale und Diffusor schneiden.



Der entsprechende Verrundungs-Radius kann eingegeben werden (**Fillet radius**).

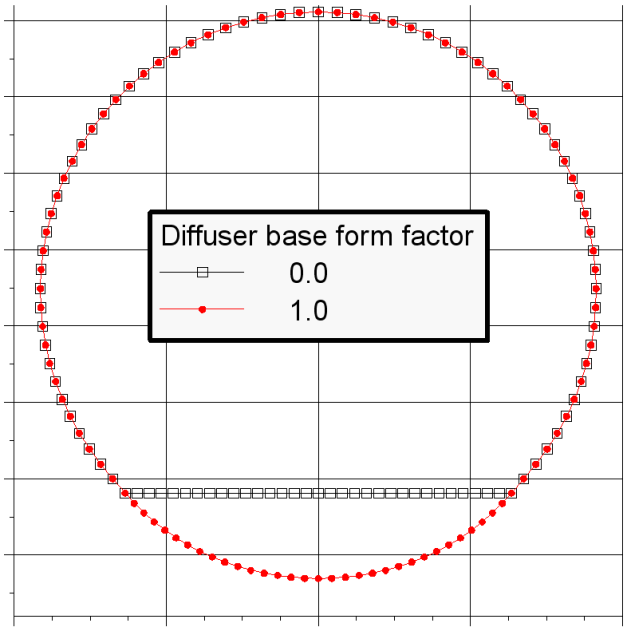
Der **Diffuser base form factor** beeinflusst die Ausrundung des ersten Diffusor-Querschnittes an seiner Unterseite und liegt zwischen 0,2 und 1:

0 = eckige Unterseite (wie Spirale)

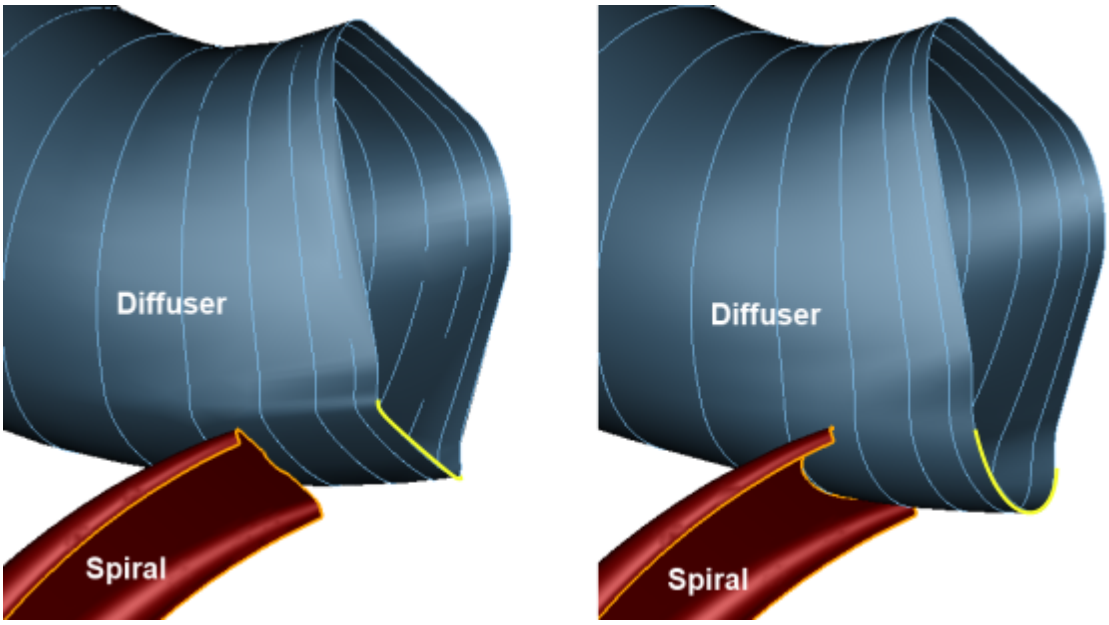
1 = voll ausgerundete Unterseite

Damit wird die Form der Durchdringungskurve und somit die Form der Spiralenzunge beeinflusst.

© CFturbo Software & Engineering GmbH



Diffuser base form factor für einen runden Spiralenquerschnitt



Vergleich eines Diffuser base form factors von 0,2 und 1,0 für einen Spiralenquerschnitt vom Typ Line Segments

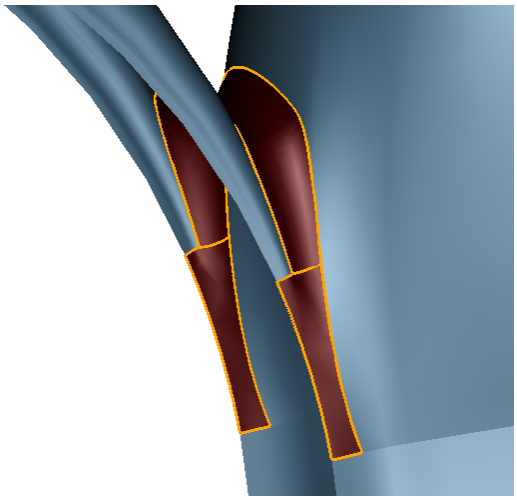
Spiral start position gibt die Winkelposition an, bei der die Spirale beginnt. Sie beeinflusst die Durchdringung von Spirale und Diffusor. Die Winkelposition muss mindestens 1° betragen und muss kleiner sein als die Position des Schnittpunktes von Spiralen- und Diffusorkontur. Wird **Automatic** aktiviert, so erfolgt die Bestimmung der optimalen Winkelposition automatisch.

Surface transition definiert den Übergang von den Seitenflächen zur zentralen Fillet-Fläche:

© CFturbo Software & Engineering GmbH

- Tangential: Tangentialer Übergang zwischen den beiden Flächen (zeitintensiv)
- Non-tangential: Kein tangentialer Übergang zwischen den beiden Flächen
- Automatic: Tangentialer Übergang wird versucht. Falls dies fehlschlägt, wird ein nicht-tangentialer Übergang erzeugt. (zeitintensiv)

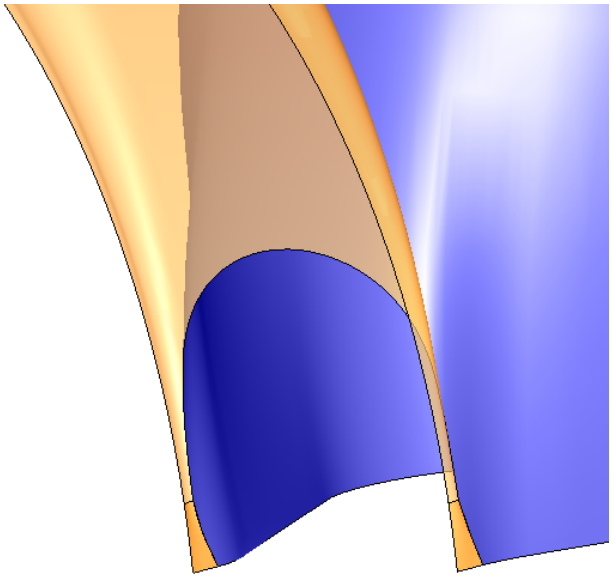
Wenn der Fillet-Modus für die Spiralenzunge gewählt wurde, wird das **3D-Modell** nach jeder Änderung des Designs in den Modellzustand 174 "Solids only" versetzt, weil nur dann die an die Verrundung angepassten Spiralen- und Diffusor-Flächen zu sehen sind.



10.5.3 Sharp

Bei der Sharp-Spiralenzunge erfolgt nur eine Verschneidung von Spirale und Diffusor an der entstehenden Schnittkurve. Die resultierende Geometrie kann im CAD-System weiterverarbeitet werden.

© CFturbo Software & Engineering GmbH



Voraussetzungen:

- Der Umschlingungswinkel (wrap angle) 410 muss groß genug sein, so dass sich Spirale und Diffusor schneiden.

10.6 CFD Setup

? Volute | Additional | CFD Setup

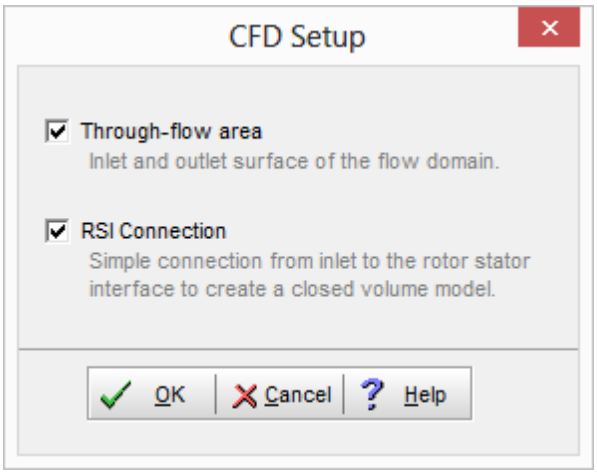
Die bisher entworfene Geometrie kann durch **virtuelle** Elemente für Simulationsrechnungen erweitert werden.

- **Through-flow area**
  Ein- und Austrittsfläche des Strömungsraumes

- **RSI Connection**
  Befindet sich am Eintritt der Komponente ein Rotor-Stator-Interface (RSI), so kann ein vorhandener Spalt zwischem diesem RSI und dem Spiraleneintritt automatisch durch die RSI connection geschlossen werden. Diese Flächen dienen der Erzeugung eines vereinfachten, geschlossenen Volumenmodells für die Strömungssimulation unter Vernachlässigung von Radseitenräumen oder anderen Gehäuseteilen.

Diese Elemente dienen ausschließlich zur Strömungssimulation (CFD) und stellen keine Geometrie im eigentlichen Sinne dar.

© CFturbo Software & Engineering GmbH


CFD Setup
Through-flow area
Inlet and outlet surface of the flow domain.
RSI Connection
Simple connection from inlet to the rotor stator interface to create a closed volume model.
OK
Cancel
Help

10.7 Modell-Einstellungen

? Volute | Model settings

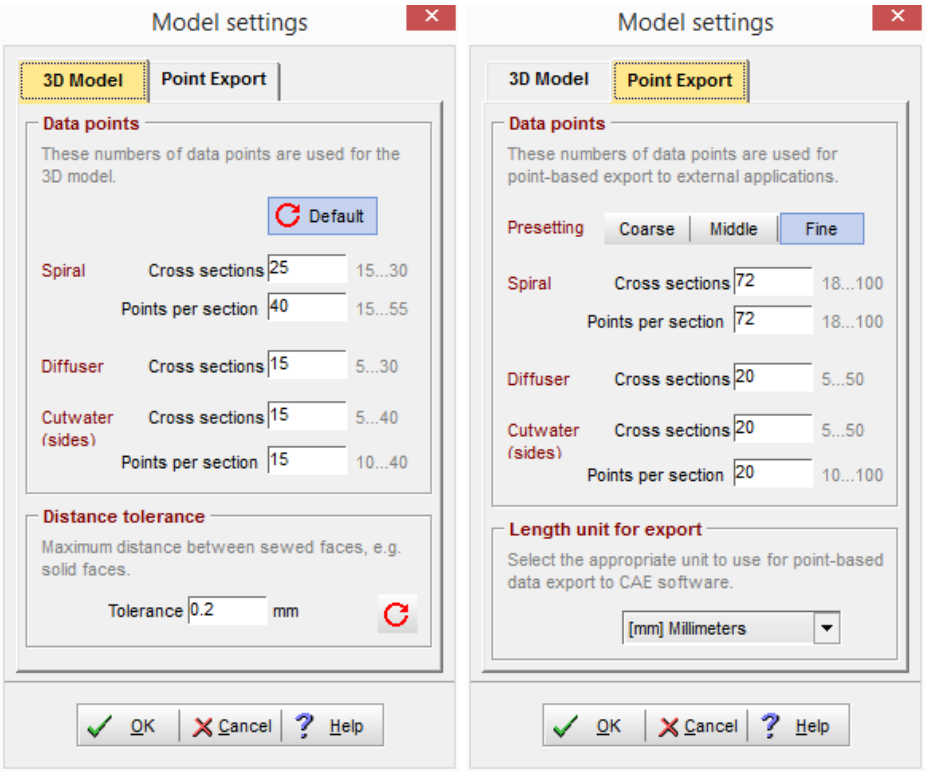
Unter **Model settings** kann die Anzahl der zu erzeugenden Datenpunkte für das 3D-Modell und für die punktbasierten Export-Formate festgelegt werden.

Die Festlegung erfolgt jeweils separat für alle Geometrieteile.

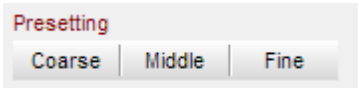
- **Spirale:** Querschnitte, Punkte je Querschnitt
- **Diffusor:** Querschnitte
- **Zunge (Seiten):** Querschnitte, Punkte je Querschnitt

Die Einstellungen für die Zungen-Querschnitte beziehen sich nicht auf die zentrale Zungen-Fläche, da ihre Querschnittsanzahl durch die Anzahl der Spiralenpunkte und durch die Side position 415 bestimmt wird.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

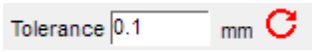


Voreinstellungen



Auswahl aus 3 globalen Feinheiten (grob, mittel, fein).

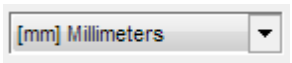
Distance tolerance (3D Model)



Die *Abstands-Toleranz* definiert den maximal zulässigen Abstand zwischen vernähten Flächen, z.B. den Flächen eines Solids.

Wenn sie zu klein gewählt wird, können die Solids nicht erzeugt werden. Wenn sie zu groß gewählt wird, werden beim Erzeugen von Solids kleine Flächen ignoriert.

Length unit for Export (Point Export)



Die Maßeinheit für den Export der Geometriedaten kann festgelegt

© CFturbo Software & Engineering GmbH

werden. Es ist darauf zu achten, dass in den entsprechenden Programmen beim Import, sofern konfigurierbar, dieselben Maßeinheiten eingestellt sind.

Beim Erzeugen eines **neuen Spiralgehäuses** werden die Modell-Einstellungen vom zuletzt geöffneten Spiralgehäuse übernommen.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Teil

11 Appendix

11.1 Literatur

ALLGEMEIN

Willi Bohl, Wolfgang Elmendorf
Strömungsmaschinen 1+2
Vogel-Verlag, 2008

Werner Fister
Fluidenergiemaschinen Bd. 1 und 2
Springer-Verlag, 1984 und 1986

Wolfgang Kalide
Energieumwandlung in Kraft- und Arbeitsmaschinen
Hanser-Verlag, 1989

Carl Pfleiderer, Hartwig Petermann
Strömungsmaschinen
Springer-Verlag, 1991

Joachim Raabe
Hydraulische Maschinen und Anlagen
VDI-Verlag, 1989

Arnold Whitfield, Nicholas C. Baines
Design of Radial Turbomachines
Longman Scientific & Technical, 1990

PUMPEN

Johann F. Gülich
Kreiselpumpen
Springer-Verlag, 1999

Kurt Holzenberger, Klaus Jung
Kreiselpumpen Lexikon
KSB AG, 1989

Val S. Lobanoff, Robert R. Ross
Centrifugal Pumps, Design & Application
Gulf Professional Publishing, 1992

Michael Schwanse
Strömungsmechanische Auslegung und Nachrechnung von radialen und diagonalen Kreiselpumpenlaufrädern
Dissertation, TU Dresden, 1990

© CFturbo Software & Engineering GmbH

A. J. Stepanoff
Centrifugal and Axial Flow Pumps
John Wiley & Sons, 1957

John Tuzson
Centrifugal pump design
John Wiley & Sons, 2000

Walter Wagner
Kreiselpumpen und Kreiselpumpenanlagen
Vogel-Verlag, 1994

Gotthard Will
Kreiselpumpen
in: Taschenbuch Maschinenbau, Band 5
hrsg. von Hans-Joachim Kleinert, Verlag Technik Berlin, 1989

VENTILATOREN

Leonhard Bommes, Jürgen Fricke, Reinhard Grundmann
Ventilatoren
Vulkan-Verlag, 2003

Bruno Eck
Ventilatoren
Springer-Verlag, 1991

Thomas Carolus
Ventilatoren
Teubner-Verlag, 2003

VERDICHTER

Ronald H. Aungier
Centrifugal Compressors
ASME Press, 2000

Klaus H. Lüdtke
Process Centrifugal Compressors
Springer-Verlag, 2004

Bruno Eckert, Erwin Schnell
Axial- und Radialkompressoren
Springer-Verlag, 1980

Davide Japikse
Centrifugal Compressors Design and Performance
Concepts ETI, 1996

© CFturbo Software & Engineering GmbH

N. A. Cumpsty
Compressor aerodynamics
Krieger publishing, 2004

Ernst Lindner
Turboverdichter
in: Taschenbuch Maschinenbau, Band 5
hrsg. von Hans-Joachim Kleinert, Verlag Technik Berlin, 1989

Members of the staff of Lewis Research Center
Aerodynamic design of axial-flow compressors
NASA SP-36, Washington, D.C. 1965

P. de Haller
Das Verhalten von Tragflügelgittern in Axialverdichtern und im Windkanal
Brennstoff-Wärme-Kraft, Band 5, Heft 10, 1953

TURBINEN

Ronald H. Aungier
Turbine Aerodynamics
ASME Press, 2006

Hany Moustapha, Mark Zelesky, Nicholas C. Baines, Davide Japikse
Axial and Radial Turbines
Concepts NREC, 2003

Weitere Literatur

John D. Stanitz, Vasily D. Prian
A rapid approximate method for the determining velocity distribution on impeller blades of centrifugal compressors
NACA Technical note 2421; July 1951

John David Anderson, R. Grundmann, E. Dick
Computational Fluid Dynamics: An Introduction
Springer-Verlag, 1996

Redlich, O., Kwong, J.N.S.
On the Thermodynamics of Solutions. V. An Equation of State. Fugacities of Gaseous Solutions,
Chemical Reviews. 44, No. 1, pp. 233–244, 1949

Aungier, R.H.
A Fast, Accurate Real Gas Equation of State for Fluid Dynamic Analysis Applications,
Journal of Fluids Engineering, Vol. 117, pp. 277-281, 1995

Giorgio Soave

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Equilibrium constants from a modified Redlich-Kwong equation of state.,
Chemical Engineering Science. 27, No. 6, pp. 1197–1203, 1972

Peng, D.Y., Robinson, D.B.
A New Two-Constant Equation of State,
Industrial and Engineering Chemistry: Fundamentals, Vol. 15: pp. 59–64, 1976

11.2 Symbole

Symbol	Beschreibung
α	Winkel der Absolutströmung gegenüber u
β	Winkel der Relativströmung gegenüber u
δ	Minderumlenkung Strömung/ Schaufel
δ_r	Drallzahl
τ	Schaufelversperrung
ω	Winkelgeschwindigkeit
ρ	Dichte
η	Wirkungsgrad
ψ	Druckzahl
σ	Dicke in Umfangsrichtung; Schnelllaufzahl
φ	Umschlingungswinkel; Lieferzahl
A	Querschnittsfläche
b	Breite
c	Absolutgeschwindigkeit
c_m	Meridiangeschwindigkeit (c_m=w_m)
c_u	Umfangskomponente der Absolutgeschwindigkeit
d	Durchmesser
F	Kraft
h	Enthalpie

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Symbol	Beschreibung
H	Förderhöhe
i	Incidence-Winkel
L	Länge
M	Moment
m	Massestrom
N	Drehzahl
n_q, N_s	Spezifische Drehzahl
p	Druck
P	Leistung
Q	Volumenstrom
r, R	Radius
s	Orthogonale Dicke
S	Statisches Moment
u	Umfangsgeschwindigkeit
v	Geschwindigkeit
w_u	Umfangskomponente der Relativgeschwindigkeit (w_u+c_u=u)
w	Relativgeschwindigkeit
Y	Spezifische Arbeit
z	Geodätische Höhe; Schaufelzahl

11.3 Kontaktadressen

Development, Sales, Support

CFturbo Software & Engineering GmbH
www.cfturbo.com

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Unterer Kreuzweg 1
01097 Dresden, Germany

Phone: (+49) 351 40 79 04 79
Fax: (+49) 351 40 79 04 80

Friedrichstraße 20
80801 Munich, Germany

Phone: (+49) 89 189 41 45 0
Fax: (+49) 89 189 41 45 20

11.4 Lizenzbedingungen

Software Cession and Maintenance Contract

between

CFturbo Software & Engineering GmbH

Unterer Kreuzweg 1, 01097 Dresden (Germany)

- hereinafter designated the 'Licensor' -

and

the CFturbo user

- hereinafter designated the 'User' -

§ 1 LICENSE AGREEMENT

By virtue of this agreement, the User acquires from the Licensor the non-transferable and non-exclusive right to use the software 'CFturbo' (hereinafter designated the 'Software') for a period of time, in exchange for the licence fee agreed between the Licensor and the User.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

1. Licence Object

The User acquires a nodelocked license or a license for one local office network (LAN) at one distinguished location of the company.

The program package consists of a data medium (CD-ROM or DVD) with the Software and a user manual in the form of a PDF file. In the event that the Software was downloaded from the official website of the Licensor, the program package consists of the corresponding installation file including electronic documentation.

2. Duration / commencement of the licence

The User obtains the right to use the Software. The right is obtained after the payment of the full licence fee and implicitly expires at the end of the arranged time period.

4. Right of Use

(1) In accordance with this contract, the Licensor grants the User a right of use to the Software described under 1. as well as a right to use the necessary printed matter and documentation. The printing-out of the manual for the purposes of working with the Software is permitted.

(2) The User may duplicate the Software only insofar as the duplication in question is necessary for the use of the Software. Necessary reasons for duplication notably include the installation of the Software from the original data medium onto the mass storage of the hardware used, as well as the loading of the Software into the RAM memory.

(3) The User is entitled to perform duplication for backup purposes. However, in principle, only a single backup copy may be created and stored. The backup copy must be labelled as being a backup copy of the ceded Software.

(4) If, for reasons of data security or the assurance of a fast reactivation of the computer system after a total failure, the regular backing-up of the entire dataset including the computer programs used is essential, then the User may create the number of backup copies which are compulsorily required. The data media concerned must be labelled accordingly. The backup copies may only be used for purely archival purposes.

(5) The User is obliged to take appropriate measures to prevent the unauthorized access of third parties to the program including its documentation. The supplied original data media, as well as the backup copies, must be stored in a location protected against the unauthorized access of third parties. The employees of the User must be explicitly encouraged to observe these contractual conditions as well as the provisions of copyright law.

(6) Additional duplications, also including the printing-out of the program code on a printer, must not be created by the User. The copying and the handover or transfer of the user manual to third parties is not permitted.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

5. Multiple Use and Networks

(1) The User may use the Software on any hardware available to him, provided that this hardware is appropriate for the use according to the Software documentation. In the event of changing the hardware, the Software must be erased from the previously used hardware.

(2) The simultaneous reading in, storage or use on more than one hardware device is not permitted unless the User has acquired multiple-use licences or network licences. Should the User wish to use the Software on multiple hardware configurations at the same time, for example to permit the use of the Software by several employees, he must purchase the corresponding number of licences.

(3) The use of the ceded Software on different computers on a network or another multiple-workstation computer system is permitted, provided that the User has purchased multiple-use licences or network licences. If this is not the case, the User may only use the Software on a network if he prevents simultaneous multiple use by means of access protection mechanisms.

6. Program Modifications

(1) The disassembly of the ceded program code into other code forms (decompilation) as well as other types of reverse-engineering of the different manufacturing stages of the software, including a modification of the program, is not permitted.

(2) The removal of the copy protection or similar protection mechanisms is not permitted. Insofar as the trouble-free use of the program is impaired or hindered by one of the protection mechanisms, the Licensor is obliged to remedy the fault on an appropriate request. The User bears the burden of proof of the impairment or hindrance of trouble-free usability as a result of the protection mechanism.

(3) Copyright notices, serial numbers and other marks used for program identification purposes must in no event be removed or modified. This also applies to the suppression of the screen display of such marks.

7. Resale and Leasing

Resale and leasing of the Software or other cession of the Software to third parties is only permitted with the written agreement of the Licensor.

8. Warranty

(1) The Licensor makes no warranty with respect to the performance of the Software or the obtained data and the like. He grants no guarantees, assurances or other provisions and conditions with respect to the merchantability, freedom from defects of title, integration or usability for specific purposes, unless they are legally prescribed and cannot be restricted.

(2) Defects in the ceded software including the user manuals and other documents must be

© CFturbo Software & Engineering GmbH

remedied by the Licensor within an appropriate period of time following the corresponding notification of the defect by the User. The defect is remedied by free-of-charge improvements or a replacement delivery, at the discretion of the Licensor.

(3) For the purposes of testing for and remedying defects, the User permits the Licensor to access the Software via telecommunications. The connections necessary for this are established by the User according to the instructions of the Licensor.

(4) A right of cancellation of the User due to the non-granting of use according to § 543 para. 2 clause 1 no. 1 of the Civil Code is excluded insofar as the improvement or replacement delivery is not to be regarded as having failed. Failure of the improvement or replacement delivery is only to be assumed if the Licensor was given sufficient opportunity to make the improvement or replacement delivery.

(5) Furthermore, the statutory regulations also apply.

9. Liability

(1) The claims of the User for compensation or replacement of futile expenditure conform, without regard to the legal nature of the claim, to the existing clause.

(2) In the Software, it is a question of a design procedure. It is considered to be purely an approximation method. The Licensor is not liable for the functioning of the data obtained in practice, for the manufactured prototypes or components, or for possible consequential damages resulting therefrom.

(3) The Licensor is liable for damage involving injury to life and limb or to health, without limitation, insofar as this damage is the result of a negligent or intentional breach of obligation on the part of the Licensor or one of his legal representatives or vicarious agents.

(4) Otherwise, the Licensor is liable only for gross negligence and deliberate malfeasance.

(5) Liability for consequential damages due to defects is excluded.

(6) The above regulations also apply in favour of the employees of the Licensor.

(7) The liability according to the Product Liability Act (§ 14 ProdHaftG) remains unaffected.

(8) The liability of the Licensor regardless of negligence or fault for defects already existing on entering into the contract according to § 536 a para. 1 of the Civil Code is expressly excluded.

10. Inspection Obligation and Notification Obligation

(1) The User will inspect the delivered Software including its documentation within 8 working days after delivery, in particular with regard to the completeness of the data media and user manuals as well as the functionality of the basic program functions. Defects determined or detectable hereby must be reported to the Licensor within a further 8 working days by means of a registered letter. The defect notification must contain a detailed description of the defects.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

(2) Defects which cannot be detected in the context of the described appropriate inspection must be reported within 8 working days of their discovery with observance of the notification requirements specified in paragraph 1.

(3) In the event of the violation of the inspection and notification obligation, the Software is considered to be approved with regard to the defect concerned.

11. Intellectual Property, Copyright

The Software and all the authorized copies of this Software made by the User belong to the Licensor and are the intellectual property of the latter. The Software is legally protected. Insofar as it is not expressed stated in this contract, the User is granted no ownership rights to the Software, and all rights not expressly granted by means of this contract are reserved by the Licensor.

12. Return

(1) At the end of the contractual relationship, the User is obliged to return all of the original data media as well as the complete documentation, materials, and other printed matter ceded to him. The program and its documentation must be delivered to the lessor free of charge.

(2) The appropriate return also includes the complete and final deletion of all installation files and online documentation, as well as any copies that may exist.

(3) The Licensor may dispense with the return and order the deletion of the program and the destruction of the documentation. If the Licensor exercises this elective right, he will explicitly inform the User to this effect.

(4) The User is expressly advised that, after the end of the contractual relationship, he may not continue to use the Software and, in the event of non-compliance, is violating the copyright of the copyright holder.

§ 2 SOFTWARE MAINTENANCE

The Licensor performs the maintenance and upkeep of the Software modules included in this contract under the following conditions. The maintenance of computer hardware is not the subject matter of this contract.

1. Scope of the maintenance obligation

(1) The contractual maintenance measures include:

a) The provision of the respectively newest program versions of the Software modules named under

© CFturbo Software & Engineering GmbH

§ 1 no. 1 as free-of-charge downloads. The Software is installed by the User.

b) The updating of the Software documentation. Insofar as a significant change to the functional scope or operation of the software occurs, completely new documentation will be provided.

c) On the expiration of the defect liability period resulting from the Software cession contract, the remedying of defects both in the program code and in the documentation.

d) Both the written (also by fax or e-mail) and telephone advising of the customer in the event of problems regarding the use of the Software as well as any program errors that may need to be recorded.

e) The telephone advice service ('hotline') is available to customers on working days between 9.00 a.m. and 4.00 p.m. (CET).

f) Defects reported in writing or requests for advice are answered no later than the afternoon of the working day following their receipt. As far as possible, this occurs by telephone for reasons of speed. The customer must therefore add the name and direct-dial telephone number of the responsible employee to every written message. For defect reports or requests for advice sent by e-mail, the answer may also be given by e-mail.

(2) The following services, among others, are not included in the contractual maintenance services of the contractor:

a) Provision of advice outside of the working hours specified under § 2 para. 1 letter e).

b) Maintenance services which become necessary due to the use of the Software on an inappropriate hardware system or with an operating system not approved by the Licensor.

c) Maintenance services which become necessary due to the use of the Software on another hardware system or with another operating system.

d) Maintenance services after interference of the customer with the program code of the Software.

e) Maintenance services with respect to the interoperability of the Software which is the subject matter of the contract with other computer programs which are not the subject matter of the maintenance contract.

f) The remedying of faults and damage caused by incorrect use by the User, the influence of third parties or force majeure events.

g) The remedying of faults and damage caused by environmental conditions at the setup location, by defects in or absence of the power supply, faulty hardware, operating systems or other influences not attributable to the Licensor.

2. Payment

(1) If the User has acquired the Software for a limited period of time, then the payment for the maintenance has already been effected in full with the payment of the licence fee.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

(2) In the event of a right of use for an unlimited period of time, the first twelve months of maintenance are included in the licence fee. In the following period, the annual maintenance fee can be found in the enclosed price table. The Licensor is entitled to adjust the maintenance fee on an annual basis in accordance with the general trend of prices. If the increase in the maintenance fee amounts to more than 5%, the customer may cancel the contractual relationship.

3. Duration of the Contract

In the case of a time-limited right of use, maintenance contract ends with the expiration of the right of use of the Software.

In the case of a time-unlimited right of use:

the maintenance contract is extended after the first twelve months by a further twelve months respectively, unless the User opposes this in writing to the Licensor within a period of 3 months prior to the expiration.

or

the User may demand, after the first twelve months, a continuation of the maintenance contract by a further 12 months respectively up to the date of the expiration of the contract. The demand must be made in writing.

4. Cooperation Obligations

(1) In the transcription, containment, determination and reporting of defects, the customer must follow the instructions issued by the Licensor.

(2) The customer must specify its defect reports and questions as accurately as possible. In doing so, he must also make use of competent employees.

(3) During the necessary test runs, the customer is personally present or seconds competent employees for this purpose, who are authorized to pronounce and decide on defects, functional expansions, functional cutbacks and modifications to the program structure. If necessary, other work involving the computer system must be discontinued during the time of the maintenance work.

(4) The customer grants the Licensor access to the Software via telecommunications. The connections necessary for this are established by the customer according to the instructions of the Licensor.

5. Liability

(1) The Licensor is liable only for deliberate malfeasance and gross negligence and also that of his legal representatives and managerial staff. For the fault of miscellaneous vicarious agents, the liability is limited to five times the annual maintenance fee as well as to such damage the arising of which is typically to be expected in the context of software maintenance.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

(2) The liability for data loss is limited to the typical data retrieval expenditure which would have come about in the regular preparation of backup copies in accordance with the risks.

§ 3 MISCELLANEOUS AGREEMENTS

1. Conflicts with Other Terms of Business

Insofar as the User also uses General Terms of Business, the contract comes about even without express agreement about the inclusion of General Terms of Business. Insofar as the different General Terms of Business coincide with respect to their content, they are considered to be agreed. The regulations of the anticipated law replace any contradictory individual regulations. This also applies to the case in which the Conditions of Business of the User contain regulations which are not contained in the framework of these Conditions of Business. If the existing Conditions of Business contain regulations not contained in the Conditions of Business of the User, then the existing Conditions of Business apply.

2. Written Form

All agreements which contain a modification, addition or substantiation of these contractual conditions, as well as specific guarantees and stipulations, must be set down in writing. If they are declared by representatives or vicarious agents of the Licensor, they are only binding if the Licensor has granted his written consent to them.

3. Notice and Cognizance Confirmation

The User is aware of the use of the existing General Conditions of Business on the part of the Licensor. He has had the opportunity to take note of their content in a reasonable manner.

4. Election of Jurisdiction

In relation to all of the legal relations arising from this contractual relationship, the parties agree to apply the law of the Federal Republic of Germany, with the exception of the United Nations Convention on Contracts for the International Sale of Goods.

5. Place of Jurisdiction

For all disputes arising in the context of the execution of this contractual relationship, Dresden is agreed to be the place of jurisdiction.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

6. Severability Clause

Should one or more of the provisions of this contract be ineffective or void, then the effectiveness of the remaining provisions remains unaffected. The parties undertake to replace the ineffective or void clauses with legally effective ones which are as equivalent as possible to the originally intended economic result. The same applies if the contract should contain a missing provision which requires addition.

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Index

- 1 -

1D-streamline 182, 219

- 3 -

3D Model 163, 164, 170, 174
3D view 174
3D-Ansicht 163, 164, 170, 174
3D-Modell 125

- A -

Abstand 335
Abstands-Toleranz 368
Abströmbeiwert 309, 311
Achsnormalschnitt 312, 336
Acoustic benefit 357
Administrator 12
Ähnlichkeitskennzahlen 185, 237, 242
ALT 405
angle of flow 236, 237
Annahmen 185, 222, 237, 242
ANSA 91
Ansicht 164
Anstellwinkel 302
Ansys 122
approximate 274
Approximation functions 135
Approximationsfunktionen 135
approximieren 335
Arbeitsübertragung 305
Area circles 262
Area progression 262
Assumptions 185, 222, 237, 242
asymmetric 399, 409
asymmetrisch 409
Auflösung 164
AUNGIER 309
Auslegungspunkt 67
Außendurchmesser 192, 228, 237, 242
Austrittsbreitenverhältnis 185, 222
Austrittsdreieck 305
Austrittsfläche 367
AutoCAD 89, 94
AutoGrid 91, 103
Automatic 424
Automatischer Entwurf 57
Automatischer Komponentenentwurf 57
automatisches Update 133
Axial extension 271
Axial impeller 222
Axial position 393
axiale Position 393
Axialrad 185, 222

- B -

Basic values 184, 221, 236
Batch 26
Batch mode template 85
bend 409
Beta progression 312
Bezier 274, 335, 336, 399, 404
Bezier mode 262, 271
Bezier polynom 324
Bezier-Kurven 42
Blade 357
Blade angle 287, 302, 305
Blade angles 287, 316, 324
Blade blockage 302, 305
Blade lean angle 324
Blade lines 287
blade number 237
Blade properties 287
Blade shape 287
Blade thickness 287, 330
Blades 170
Boundary conditions 316
Breitenzahl 135
Brumfield 207

- C -

CAD 9, 79
CAE 79
Calculate 192, 228, 237, 242, 287

© CFturbo Software & Engineering GmbH

Casing 362, 367
Catia 89, 103
Central Bezier point 316
CFD 9, 79, 122, 434
CFT 65
CFturbo 9
CFturbo2ICEM 122
CFX-BladeGen 89
Characteristic numbers 185, 222, 237, 242
Check 146, 156
checksum 15
Circle 275, 399, 418
Circular blades 319
Color 170
company 12, 15
Compensation 410, 415
Constant 330
continuity equation 192, 228, 242
Contour 170, 278
convert 274
copy to clipboard 15
Coupled 271
Coupled linear 316, 336
Cross section 271
Cross sections 182, 219, 399
Curvature 262
Cut-water 410, 415, 424

- D -

Datenpunkte 368
Deceleration ratio 287
Deckscheibe 170, 262
Decreased output 287, 310
Default 152
Density 184, 221
Design point 184, 221, 236
Design report 85
Design rule 410, 414
Deviation angle 287, 305
Deviation flow - blade 287
Deviationswinkel 287
Diameter coefficient 185, 222
diameter ratio 185, 222, 237
Diameter.cftdi 192, 261
Dichte des Fördermediums 184, 221
Dimensions 192, 228, 237, 242
Direction of rotation 393
distance 274
distance tolerance 175
Double-click 146
Download 156
Drall 302
Drallzahl 184, 221, 236
Drehmoment 242
Drehrichtung 393
Drehzahl 184, 221, 236
Drucken 42, 164
Druckseite 302
Drucksprung 184, 221
Druckzahl 135, 185, 222
Durchmesserverhältnis 185, 222, 237, 242
Durchmesserzahl 135, 185, 222

- E -

Edge position 342
Edit 44
Efficiency 185, 222, 237, 242
  Hydraulic 185
  Impeller 222
  Internal 185, 222
  mechanical 185, 222, 237
  Overall 185, 222
  Side friction 185
  Tip clearance 185
  total- 237
  total-to-total 237
  Volumetric 185, 222
einflutig 184, 221, 236
Einfügen 405
Einheiten 148
Einlaufzahl 135, 185
Einstellungen 148, 368
einstufig 184, 221, 236
Eintrittsdreieck 302
Eintrittsfläche 367
Eintrittskante 262
Einzelschaufel 170
Ellipse 336
empirisch 44
End cross section 410, 418

© CFturbo Software & Engineering GmbH

End shape 418
Endquerschnitt 418
Entfernen 405
Entwurfsschritte entfernen 133
Erforderliche Antriebsleistung 185, 222
Errors 174
Erstentwurf 133
Euler's Equation of Turbomachinery 192, 228, 242
Eulersche Hauptgleichung 192, 228, 237, 242
Exit diameter 262
Exit width 262
Expiration 146
Export 26, 79, 122, 170
Extend blade 370
Extension 359, 361, 410, 418
Extension on exit 262
External 399

- F -

Farbe 170
Fehler 174
Fertigstellung 370
file 25
File location 135, 192, 228, 261
find 25
Finishing 370
Flächen 174
Flobal Setup 67
Flow angle 184, 221, 287
Flow angles 185, 222
Flow Domain Area 362
Flow rate 184, 221
Fluid 67
Förderhöhe 184, 221
Förderleistung 184, 221
Förderstrom 184, 221
found 25
Freeform 316, 324
Freiform 324
Frontal view 312, 330, 336
Full impeller 63, 184, 221, 236
Full volute 63
Function 135
Functions.cftfu 135
Funktion 44, 135

- G -

Gehäuse 67
Gehäusezunge 415
gekoppellt 316
General geometry 85
Gerade Schaufeln 319
Geschwindigkeitsdreieck 192, 228, 237, 242, 287, 302, 305
Geschwindigkeitskomponenten 287
Grafische Dialoge 42
Grid 262, 367

- H -

Halbaxialrad 185, 222, 237, 242
halboffenes Laufrad 367
Hauptabmessungen 234
Hauptfenster 53
Head 184, 221
Help 155
Hilfe 155
Hilfslinien 367
Hintergrund 164
Hinterkante 305
Hinzufügen 405
Hub 261, 262, 271
hub diameter 192, 228, 242, 261
Hydraulischer Wirkungsgrad 135

- I -

ICEM 122
ICEM-CFD 91
IGES 85, 163, 170
IGG 91
Impeller 393
Impeller diameter 192, 228
Impeller Options 152
Import 170
incidence 287, 302
Incidence angle 287, 302
Inclination angle 271
Inducer 207
Inflow swirl 184, 221

Information 24
informationen 178
Initial design 42
Inlet 278, 367
Inlet definition 393
inlet diameter 242
Inlet triangle 302
Input 26
Intake coefficient 185
Interface 38
Interface-Definition 40
intern 409
internal 399, 409
Inventor 89, 100

- K -

Kanten Position 342
Kavitationssicherheit 302
konforme Abbildung 312
Kontaktadressen 443
Kontinuitätsgleichung 192, 228, 237, 242
Kontrollraum 185, 222
konvertieren 335
Koordinaten 42
Koordinatensystem 164, 312
Kopieren 42
Kreis 399, 418
Kreisbogenschaufeln 319
Krümmung 262

- L -

Language 146
Laufrad 393
Laufradaustritt 305
Laufräder 9
Laufradleistung 236
Leading edge 262, 271, 302, 336
Leistungsverlust 185, 222
Length unit for Export 435
License 15, 25, 146
license agreement 444
License key 12
Line Segments 405
Linear 330
lineare 316
Linien Segmente 405
Linienstärke 164
Literatur 439
Lizensierung 12
Lizenz 24
Lizenzbedingungen 9, 444
Load from impeller 393
local 15
Löschen 405

- M -

machine ID 12, 15
Main dimensions 182, 192, 219, 228, 234, 237, 242
Manual 424
Material 170
Maus 163
Max. curvature 271
Mean line 312
Mechanischer Wirkungsgrad 135
Meridiankontur 262
Meridianlinien 287
Meridianstromfläche 312
Meridianstromflächen 312
Meridianverzögerung 185, 222, 237, 242
meridinal deceleration 237
meridional 312
meridional boundaries 330, 336
Meridional contour 262
Meridional deceleration 185, 222
Meridional extension 316, 324
Meridionale Durchflusszahl 207
meridionale Erstreckung 316, 324
meridionale Geschwindigkeit 284
Meridionale Verzögerung 135
Messages 129
Middle of PS-SS 363
Minderleistungsfaktor 310
Minderleistungstheorie 310
Minderleistungszahl 310
Minderumlenkung 287, 305
Minimal relative velocity 185
Minimale Relativgeschwindigkeit 185
Mitteilungen 129
Mixed-flow impeller 222

© CFturbo Software & Engineering GmbH

mixed-flow rotor 237, 242
ML to ML 363
Model settings 435
model state 170
Model-finishing 370
Modell-Einstellungen 435
Modell-Zustände 170
Model-settings 368
modules 15

- N -

Nabendurchmesser 242
Nabendurchmesser (Hub) 192, 228
NACA 356
Navigation 57
neck 409
Neigungswinkel Austrittskante 135
Neigungswinkel Deckscheibe 135
Neigungswinkel Tragscheibe 135
Nennpunkt 184, 221, 236
network 15
Neuentwurf 63
New design 63
Normreihen 192, 261
not 25
NPSH 185, 192
number of blades 379
Number of revolutions 184, 221
Numeca 103
NX 89

- O -

Obstruction 287
Öffnen/ Speichern von Entwürfen 65
O-Grid 367
----OLD_KEYWORDS----1D-streamline 182, 219
----OLD_KEYWORDS----3D Model 170, 174
----OLD_KEYWORDS----abgerundet 336
----OLD_KEYWORDS----Abmessungen 228, 237, 242
----OLD_KEYWORDS----Abströmbereich 262
----OLD_KEYWORDS----Abströmwinkel 185
----OLD_KEYWORDS----Achsnormalschnitt 330
----OLD_KEYWORDS----Ähnlichkeitskennzahlen 222
----OLD_KEYWORDS----ALT 405
----OLD_KEYWORDS----angle of flow 236, 237
----OLD_KEYWORDS----Area circles 262
----OLD_KEYWORDS----Assumptions 185, 222
----OLD_KEYWORDS----asymmetric 399, 409
----OLD_KEYWORDS----Ausdehnung 410
----OLD_KEYWORDS----Auslegungsdaten 184, 221, 236
----OLD_KEYWORDS----Auslegungsvorschrift 414
----OLD_KEYWORDS----Austrittsfläche 367
----OLD_KEYWORDS----axial position 393
----OLD_KEYWORDS----Basic values 184, 221
----OLD_KEYWORDS----Batch 26
----OLD_KEYWORDS----Bezier 336, 399, 404
----OLD_KEYWORDS----Bezier polynom 324
----OLD_KEYWORDS----Bezierpolynom 316, 324
----OLD_KEYWORDS----Blade angles 316
----OLD_KEYWORDS----Calculate 228, 242
----OLD_KEYWORDS----CFD 434
----OLD_KEYWORDS----Circle 418
----OLD_KEYWORDS----Compensation 410, 415
----OLD_KEYWORDS----cut-water 415
----OLD_KEYWORDS----Design information 178
----OLD_KEYWORDS----Design rule 414
----OLD_KEYWORDS----Diameter.cftdi 261
----OLD_KEYWORDS----Full impeller 63
----OLD_KEYWORDS----Grid 367
----OLD_KEYWORDS----Grundeinstellungen 152
----OLD_KEYWORDS----halboffen 379
----OLD_KEYWORDS----Hauptabmessungen 182, 219
----OLD_KEYWORDS----Help 155
----OLD_KEYWORDS--------OLD_KEYWORDS----Blade O-Grid 359, 362
----OLD_KEYWORDS--------OLD_KEYWORDS----Inlet 360
----OLD_KEYWORDS----Radial blade 298
----OLD_KEYWORDS----Radialfaser 298
Open 65
optimal 287
Optimimierung 26
Optimimization 26
Optionen 146
Other 146

Outflow coefficient 309, 311
Outlet 278, 360, 367
Outlet triangle 302, 305
Outlet width 228
Outlet width ratio 185, 222
Output 26

- P -

Parallel to z 271
Parameter 26, 44, 79, 135
Parametrisches Modell 133
permission 25
permissions 25
PFLEIDERER 287, 310, 410, 414
Physical variable 135
Points 135, 170
Pointwise 91
polyline 274
Polylinie 335
Position 424
Potentialtheorie 284
Power loss 185, 222
Power output 184, 221
Preferences 146, 148, 152
Pressure coefficient 185, 222
Pressure difference 184, 221
Pressure side 302
Primäre Seite 40
prism_params 122
Pro/ENGINEER 89, 106
problem 25
Probleme 174, 361, 366
Problems 25, 174
Profile 330, 356
Profilierung 330
Progressions diagrams 262
Project information 67
Projektion 367
Projekt-Struktur 38
Projekt-Typen 38
Pumpen 9
PumpLinx 91
punktbasierter Export 368

- Q -

Querschnitte 182, 219, 234
Querschnittsfläche 262
Querschnittsform 399

- R -

Radbreite 228, 237, 242
Radial 418
Radial 2D 356
Radial blade 298
Radial blade fibre 298
Radial blade section 298
Radial diffusor 393
Radial element 316
Radial element blade 298, 316, 324
Radial impeller 222
Radial rotor 237, 242
Radialdiffusor 393
Radialfaser 316, 324
Radialfaserschaufel 298
Radialrad 185, 222, 237, 242
Radius 275, 405
Radreibungs-Wirkungsgrad 135
Randbedingungen 316
RDP 12
Rechteck 399, 404, 418
Rectangle 399, 404, 418
Reference designs 125
Referenz-Geometrien 125
Register 12
Remote 12
Remove design steps 133
Report 178
request 15
Required driving power 185, 222
rights 25
Rotated mean line 363
rotational speed 236
rotor power 236
Rotor-Stator-Interface 40
RSI 434
RSI Connection 366

© CFturbo Software & Engineering GmbH

- S -

Saugmund 302
Saugmunddurchmesser 228, 237, 242
Saugseite 302
Saugzahl 185
Schaufel 356
Schaufeldicke 135
Schaufeldicken 287, 330
Schaufel-Eigenschaften 287
Schaufelform 287
Schaufelfußverrundung 370
schaufelkongruent 305, 309, 310, 311
Schaufeln 170
Schaufel-Neigungsgwinkel 324
Schaufelprofil 330
Schaufelprofile 287
Schaufelskelettlinie 312
Schaufelspuren 312
Schaufelversperrung 287, 302, 305
Schaufelvorderkante 336
Schaufelwinkel 287, 302, 305, 316, 324
Schaufelzahl 135, 185, 222, 242, 379
Schlupfgeschwindigkeit 309, 311
Schnelllaufzahl 184, 221, 236
Schnittstelle 79
Segment 152, 170, 362, 363, 366
Sehnenlänge 356
Sekundäre Seite 40
send E-mail 15
server 25
session code 15
Settings 368
Shaded 170
shaft 261
shaft diameter 228, 261
Shaft/ hub 242
Sharp 424
Shroud 170, 262, 271
Shroud angle 185
shroud diameter 242
SI 148
Simple 336
Simple mode 262, 275
Single blade 170
Single passage 363
single-flow 236
Single-intake 184, 221
single-stage 184, 221, 236
Skelettflächen der Schaufeln 170
Slip 287, 305
slip velocity 309, 311
Small outlet 360
Smooth inlet 363
solid 170, 175
Solids 174
SOLIDWORKS 89
Spaltweite 379
Spalt-Wirkungsgrad 135
Specific energy 184, 221
specific speed 184, 221, 236
specific work 236
Speed coefficient 184, 221
Speichern 42, 164
spezifische Arbeit 236
spezifische Drehzahl 184, 221, 236
spezifische Förderarbeit 184, 221
Spezifische Saugzahl 207
Spiral 170
Spiralen-Breitenverhältnis 135
Spiralen-Durchmesserverhältnis 135
Spiralengeometrie 410
Spiralenzunge 415, 424
Spline 418
splitter blades 379
Stack 357
Staffelungswinkel 356
Stagnation point 302
STAR-CCM+ 91
Start 50, 79
Start angle 418
start date 15
Startwinkel 418
Static moment 262, 271
Statisches Moment 262
Statuszeile 42
Staupunkt 302
STEP 85, 163, 170
Step by step 63
STEPANOFF 410, 414
Stepanoff-Konstante 135

© CFturbo Software & Engineering GmbH

STL 85, 163, 170
stoßfrei 302
Straight 271
Straight blades 319
Straight line 275
Stress.cftst 228, 261
STRG 405
Strictly external 399
Stromfadentheorie 182, 219, 234
Stromflächen 287
Stromfunktion 284
Strömungskanal 363
Strömungsrichtung 40
Strömungswinkel 40, 184, 185, 221, 236, 237, 242, 287, 302, 305
Strömungswinkel Abströmung 135
Strömungswinkel Zuströmung 135
Suction diameter 228
Suction side 302
Suction specific speed 185
Surfaces 174
Sweep 357
Swirl 302
swirl number 236
Symbole 442
Symmetric 399

- T -

Tangential 271, 278, 418
tangentiale 312
Test 135
Thickness 330, 415
Through - flow area 434
tin 122
Tip 367
tip clearance 379
Tip projection to casing 367
torque 261
torsional stress 261
Torsionsspannung 242
Tragscheibe 170, 262
Trailing edge 271, 336
Transmission of energy 305
Transparency 170
Transparenz 170
Trapez 399, 404
Trapezoid 399, 404
Trimming 370
Turbinen 9
TurboGrid 91
Type number 184, 221, 236

- U -

Umschlingungswinkel 135, 316, 324, 410
Uniform 336
Units 148
unshrouded 367, 379
unverwunden 305
unwinded length 336
Update 155, 156
Updates 146
Update-Warnungen 57
US 148
user 25
User defined 330

- V -

Velocity components 287
Velocity triangle 242, 287, 302, 305
Velocity triangles 228
Ventilatoren 9
Verdichter 9
Verdrängungswirkung 302, 305
Verengung 287
Vergleich verschiedener Entwürfe 125
vergrößern 42
Verlauf 312, 330
Vernetzung 367
Verschiedenes 359
Version 65, 79
verwunden 302
Verzögerungsgitter 312
Visible 170
VNC 12
Volumetric efficiency 393
volumetrischer Wirkungsgrad 135, 393
Volute geometry 410
Vorderkante 302

© CFturbo Software & Engineering GmbH

- W -

warning 330, 336
Warnings 336
Warnungen 336
Webseite 9
Welle 242
Wellendurchmesser 242
Wellendurchmesser (Shaft) 228
Width lines 262
WIESNER 287, 311
Wireframe 170
Wirkungsgrad 185, 222, 237, 242
  Gesamt- 185, 222, 237, 242
  hydraulischer 185, 237, 242
  innerer 185, 222
  Laufrad- 222
  mechanischer 237, 242
  Radreibungs- 185
  Spalt- 185
  volumetrischer 185, 222
Wrap angle 316, 324, 410

- Z -

Zoom 42, 164
Zunge 418
Zungenkorrektur 410, 415
Zuströmung 67, 393
Zuströmwinkel 185
Zwischenschaufeln 379

© CFturbo Software & Engineering GmbH